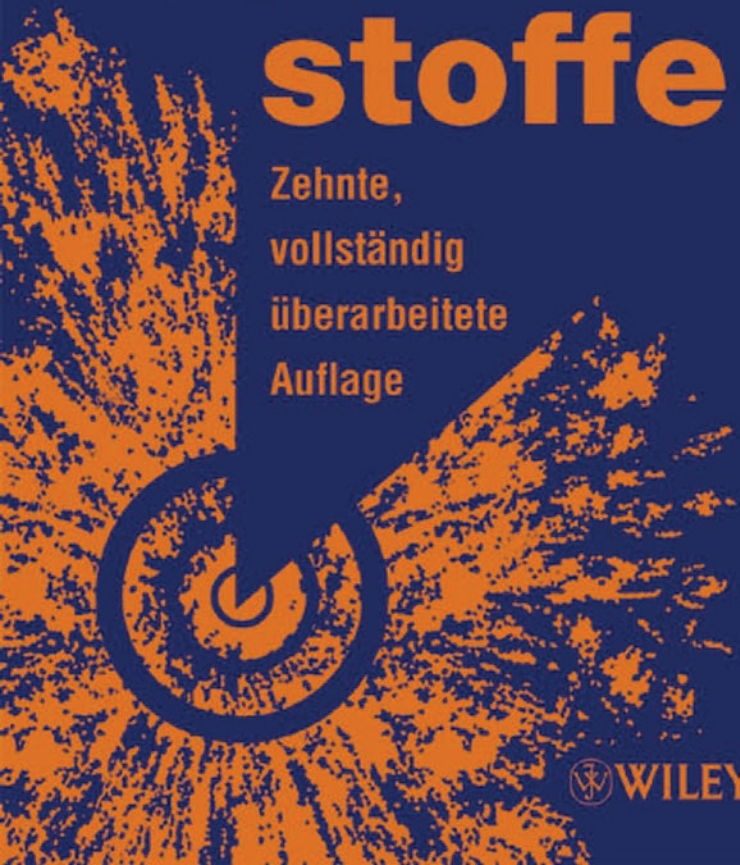
Josef Köhler
Rudolf Meyer
Axel Homburg

Explosivstoffe

Zehnte, vollständig überarbeitete Auflage



WILEY-VCH

Josef Köhler
Rudolf Meyer
Axel Homburg

Explosivstoffe

Zehnte, überarbeitete und erweiterte Auflage

WILEY-VCH

Weinheim • New York • Chichester • Brisbane • Singapore • Toronto

J. Köhler
R. Meyer
A. Homburg

Explosivstoffe

WILEY-VCH

Josef Köhler
Rudolf Meyer
Axel Homburg

Explosivstoffe

Zehnte, überarbeitete und erweiterte Auflage

WILEY-VCH

Weinheim • New York • Chichester • Brisbane • Singapore • Toronto

Dipl.-Ing. Josef H. Köhler
Fronweg 1
A-4784 Schardenberg

Dr. Rudolf Meyer (†)
(vormals WASAG Chemie AG,
Essen, Deutschland)

Dr.-Ing. Axel Homburg
c/o Dynamit Nobel GmbH
Kaiserstr. 1
D-53839 Troisdorf

Das vorliegende Werk wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

1., Auflage 1932
herausgegeben von der WASAG, Berlin
1. Nachdruck 1941

2., erweiterte Auflage 1961
herausgegeben von der WASAG-CHEMIE AG, Essen

3., neubearbeitete und erweiterte Auflage 1973
mit Unterstützung des Archivs der WASAG-CHEMIE GmbH

4., verbesserte Auflage 1975
1. Nachdruck 1976

5., überarbeitete und erweiterte Auflage 1979

6., überarbeitete und erweiterte Auflage 1985

7., überarbeitete und erweiterte Auflage 1991

8., überarbeitete Auflage 1995

9., überarbeitete und erweiterte Auflage 1998

10., überarbeitete und erweiterte Auflage 2008

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme
Köhler, Josef: Explosivstoffe / Josef Köhler ; Rudolf Meyer. - 9., überarb. und erw. Aufl. - Weinheim ; New York ; Chichester ; Brisbane ; Singapore ; Toronto : Wiley-VCH, 1998
ISBN 3-527-28864-3

© WILEY-VCH Verlag GmbH, D-69469 Weinheim (Germany), 2008

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, daß diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche gekennzeichnet sind.

All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of this book may be reproduced in any form – by photoprint, microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publishers. Registered names, trademarks, etc. used in this book, even when not specifically marked as such, are not to be considered unprotected by law.

Satz: Typomedia Satztechnik GmbH, D-73760 Ostfildern

Druck und Bindung: Franz Spiegel Buch GmbH, D-89026 Ulm

Printed in the Federal Republic of Germany

Herrn Berthold von Bohlen und Halbach † gewidmet

IN MEMORIAM

Rudolf Meyer

(1908–2000)

Dr. Rudolf Meyer wurde am 4. März 1908 in Spandau (Berlin) geboren und schloss sein Studium auf dem Gebiet der physikalischen Chemie ab. Er begann seine erste wissenschaftliche Arbeit auf dem Gebiet der energetischen Stoffe im Rahmen seiner Promotion über die thermodynamischen Daten der Stickstoffwasserstoffsäure, die er 1931 an dem Berliner Institut von Professor Bodenstein anfertigte. Nach seiner Doktorarbeit trat Rudolf Meyer 1934 als Assistent von Dr. Ph. Naoum in die Dynamit Nobel AG ein, wo er, zuletzt als Laborleiter im Werk Krümmel, von 1936–1945 an gießbaren, ammoniumnitrathaltigen Explosivstoffen und Hohlladungen arbeitete.

Nach dem Krieg nahm er eine Stelle als wissenschaftlicher Berater beider argentinischen Regierung in Buenos Aires an. 1954 kehrte er nach Deutschland zurück und war bis zu seiner Pensionierung technischer Direktor der WASAG Chemie AG, Essen. Er starb am 23. 05. 2000 in Essen und hinterließ seine Ehefrau, mit der er über 60 Jahre verheiratet war, und zwei erwachsene Söhne.

Dr. Meyer hat sein ganzes Berufsleben der Sprengstoffchemie gewidmet.

Vorwort zur zehnten Auflage

Die nunmehr zehnte Auflage der „Explosivstoffe“ trägt jetzt die Namen von drei Autoren. Erfreulicherweise hat sich Herr Dr.-Ing. Axel Homburg, wie auch bereits bei den letzten zwei englischen Auflagen, bereit erklärt, bei der Erstellung diese Werkes mitzuwirken.

Herr Dr. Homburg war viele Jahre Vorsitzender der Geschäftsführung der Dynamit Nobel AG und ist seit 1996 Mitglied des dortigen Aufsichtsrats. Aufgrund seiner langjährigen, beruflichen Erfahrung darf Dr. Homburg als ein ausgezeichneter und vielseitiger Fachmann auf dem Gebiet der energetischen Materialien bezeichnet werden, der auch weit über den deutschsprachigen Raum hinaus einen ausgezeichneten Ruf genießt.

Leider verstarb im Mai 2000 der bisherige Hauptautor und Initiator dieses erfolgreichen Werkes, Herr Dr. Rudolf Meyer.

Dr. Meyer startete 1961, in seiner damaligen Funktion als technischer Direktor der WASAG Chemie AG in Essen, die erste Nachkriegsauflage der „Explosivstoffe“, wobei seinerzeit eine ehemalige Firmenbroschüre von 1932 als Vorlage diente. Im Jahre 1977 erfolgte dann erstmalig die Veröffentlichung der englischsprachigen „Explosives“, von der bis heute bereits eine sechste Auflage existiert.

Gegenüber der neunten Auflage wurden, neben den üblichen kleineren Korrekturen und Ergänzungen, wieder einige neue, auch technisch interessante Verbindungen mit Explosivstoffcharakter aufgenommen.

Die Autoren sind insbesondere, wie auch bei allen vorangegangen deutschen und englischen Auflagen, den Mitarbeitern des Fraunhofer Instituts für Chemische Technologie (ICT) für die umfangreiche Hilfestellung zu großem Dank verpflichtet. Dabei wären insbesondere Herr Prof. Dr.-Ing. P. Elsner, Herr Dr. H. Krause, Herr Dr. M. Herrmann, Herr Dr. S. Kelzenberg, Herr Dr. P.B. Kempa, Frau Dr. G. Kistner, Herr Dr. Th. Keicher, Herr Dr. F. Volk (†) und Herr H. Bathelt zu nennen.

Mr. Dr. Robert Bickes von den Sandia National Labs, USA stellte einen Artikel zu dem Stichwort Semiconductor Bridge Igniteres (SCB) zur Verfügung, Herr Dr. Alfred Kappl übermittelte Textmaterial zu dem Themenkomplex FAE und thermobare Ladungen.

Weiterhin möchten sich die Autoren auch bei den Mitarbeitern der Fachabteilung II.3 der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) bedanken. Hier wären Herr Dr. D. Eckhardt, Herr Dr. Th. Lehmann und Herr Dr. J Otto zu nennen.

Aus dem Vorwort bisheriger Auflagen:
Das Molekulargewicht wurde im allgemeinen mit einer für sprengtechnische Berechnungen ausreichenden Genauigkeit mit einer Stelle hinter dem Komma angegeben. Angaben zur Dichte geschahen nach

bestem Wissen, natürlich bei Flüssigkeiten mit mehr signifikanten Stellen als bei Feststoffen. Die Bestimmung der sprengtechnischen Kennzahlen, wie z. B. Bleiblockausbauchung oder Verpuffungspunkt, ist in Stichworten beschrieben, in denen Definitionen und Versuchsbedingungen angegeben sind.

Alle berechenbaren Größen: Explosionswärmen, Normalgasvolumen und spezifische Energie wurden mit Hilfe des, von Herrn Dr. F. Volk, sowie Herrn H. Bathelt, Fraunhofer Institut für Chemische Technologie (ICT), erstellten FORTRAN-Computer-Programms „ICT-Code“ berechnet.

Eine Demo CD des ICT-Codes und der ICT-Thermodynamischen Datenbank ist dem Buch beigefügt.

Die, zuerst in der englischen Ausgabe aufgenommenen thermoanalytischen Daten, die Dr. G. Krien im Bundesinstitut für Chemisch-Technische Untersuchungen erarbeitete, sind auch in diese Auflage übernommen worden, ferner Ausführungen von W. E. Nolle von der Erprobungsstelle 71 der Bundeswehr, Eckernförde, über Unterwasserdetonationen.

Für die Tabellen thermodynamischer Werte gilt als Standard-Temperatur 25 °C = 298,15 K, für Kohle als Elementarmodifikation Graphit (nicht Diamant). Die Daten für die Bildungswärmen wurden aus der, von Dr. F. Volk und H. Bathelt am Fraunhofer Institut für Chemische Technologie (ICT) erstellten Datenbank übernommen.

Die Autoren haben allen Gönnern und Fachkollegen zu danken, welche diese und die vorangehenden Auflagen „Explosivstoffe“ zu erstellen halfen. Genannt seien Prof. Dr. E. Büchner (T. U. München), Dr. D. Eckhardt (BAM, Berlin), Dipl.-Ing. W. Franke (BAM, Berlin), Dipl.-Ing. H. Grosse† (WASAG Chemie), Dr. E. Häusler † (BICT), Dr. R. Hagel (DNAG, Fürth), Dr. H. Hornberg† (ICT), Dr. J. Knobloch (WNC-Nitrochemie), Prof. Dr. H. Köhler † (Austron), Dr. A. Kratsch (Rheinmetall Industrie GmbH), Prof. Dr.-Ing. K. Nixdorff (Universität der BW, Hamburg), Dipl.-Ing. J. Prinz (Sprengtechnischer Dienst, Dortmund), Dr. H. J. Rodner (BAM, Berlin), Dr. J. F.Roth † (DNAG, Troisdorf), Prof. Dr. H. Schubert (ICT), Prof. Dr. M. Steidinger (BAM, Berlin), Dipl.-Ing. G. Stockmann (WNC-Nitrochemie), Mr. R. Varosh (RISI, USA), Dr. F. E. Walker (Interplay, USA) und Dr. R. Zimmermann (BVS, Dortmund).

Viele ungenannt gebliebene mögen sich in gleicher Weise angesprochen fühlen!

Besonderer Dank gebührt den Herren RA G. Maibücher und Dr. Karl Meyer †, sowie der WILEY-VCH Verlag GmbH, insbesondere Frau Dr. Oberbeckmann-Winter und Frau Claudia Zschernitz für die hocherfreuliche Zusammenarbeit bei der Herstellung und Drucklegung dieses Buches.

Auch weiterhin bleiben Verlag und Autoren gerne für Anregungen und Mitteilungen jeder Art offen. Wir hoffen, dass unser Buch auch in dieser Auflage ein nützliches und rasch informierendes Nachschlagewerk bleiben wird.

Schardenberg, Oktober 2007 Josef Köhler Dr. Axel Homburg

Abbrandgeschwindigkeit

burning rate; vitesse de combustion

Die lineare Brenngeschwindigkeit eines Treibmittels ist die Geschwindigkeit, mit welcher die chemische Umsetzung infolge von Wärmeleitung und Strahlung (senkrecht zur aktuellen Oberfläche des Treibmittels) fortschreitet. Sie ist von der chemischen Zusammensetzung, dem Druck, der Temperatur und dem physikalischen Zustand des Treibmittels (Porosität; Korngrößenverteilung der Komponenten; Verdichtung) abhängig. Die entstehenden Schwaden strömen entgegengesetzt zur Abbrandrichtung (im Gegensatz hierzu: → Detonation).

Die Abbrandgeschwindigkeit bezeichnet die Geschwindigkeit, mit der sich das Volumen des brennenden Treibmittels ändert. Sie ist proportional zur linearen Brenngeschwindigkeit und hängt desweiteren von der speziellen Formgebung des Treibmittels (Größe der Pulver-Elemente und Gesalt, z. B. Blättchen, Kugeln, Röhren, Mehrlochröhren usw. bis zu den kompliziertesten Formen der Raketen-Treibsätzen) ab.

In der Raketentechnik bezeichnet „Abbrandgeschwindigkeit“ speziell den stationären Abbrandfortschritt in der Raketenkammer.

Zwischen der Abbrandgeschwindigkeit dz/dt und der linearen Brenngeschwindigkeit ė besteht der Zusammenhang:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{S(0)}{V(0)} \cdot \varrho(z) \cdot \dot{e}$$

wobei ė gegeben ist durch

$$\dot{e} = \dot{e}(p_{ref}) \cdot \left(\frac{p(z)}{p_{ref}}\right)^{\alpha}$$

z	bezeichnet das Verhältnis von verbranntem zu ursprünglich vorhandenem Volumen {V(0)–V}/V(0)
S(0)/V(0)	bezeichnet das Verhältnis von anfänglicher Oberfläche zum anfänglichen Volumen des Pulvers,
$\varrho(z)$	bezeichnet die Formfunktion des Pulvers, die den geometrischen Verhältnissen (Kugel-, Blättchen-, Zylinder-, N-Lochpulver) beim Abbrand Rechnung trägt ($\varrho(z)$ = aktuelle Oberfläche/Anfangsoberfläche)
$\dot{e}(p_{ref})$	bedeutet die lineare Brenngeschwindigkeit bei dem Referenzgasdruck p_{ref}
p_{ref}	ist der Referenzgasdruck und
α	der Druckexponent.

Die Gleichung für die Abbrandgeschwindigkeit dz/dt läßt sich auch in der Form

$$\frac{dz}{dt} = A \cdot \varrho(z) \cdot p^{\alpha}$$

schreiben und wird dann als Charbonnier'sche Gleichung bezeichnet. Die Größe $A = (S(0)/V(0)) \cdot \varrho(z) \cdot \dot{e}(p_{ref})/p_{ref}^{\alpha}$ heißt „Lebhaftigkeitsfaktor".

Der Druckexponent α hat für Treibladungspulver (Abbrand bei hohem Druckniveau) typischerweise einen Wert nahe bei 1. Bei niedrigen Druckbereichen (Raketenabbrand) kann er durch geeignete Zusätze zum Treibmittel in die Nähe von Null („Plateau-Abbrand") oder auch unter Null („Mesa-Abbrand") gebracht werden.

Die lineare Brenngeschwindigkeit und der Druckexponent eines Treibmittels können bei bekannter Geometrie des Treibmittels in der → ballistischen Bombe experimentell bestimmt werden.

Näheres über theoretische und praktische Zusammenhänge: *Barrère, Jaumotte, Fraeijs de Veubeke, Vandenkerckhove*, „Raketenantriebe"; Elsevier Publishing Company, Amsterdam 1961. Seite 265 ff.; *Dadieu, Damm, Schmidt*, „Raketentreibstoffe", Springer, Wien 1968.

Abel-Test

Nach diesem von *Abel* im Jahre 1875 vorgeschlagenen Test wird die Zeit beobachtet, innerhalb welcher die von 1 g Explosivstoff bei 82,2 °C entwickelten Gase ein mit Jodkalistärkelösung präpariertes und angefeuchtetes Filtrierpapier blau oder violett färben. Diese Färbung darf z. B. bei gewerblichen Nitroglycerinsprengstoffen erst nach 10 Minuten eintreten. Eine empfindlichere Ausführungsart benutzt Jodzinkstärkepapier.

Während der Abel-Test als Kontrolle bei der Herstellung von Nitrocellulose, Nitroglycerin und Nitroglykol auch heute noch Verwendung findet, wird er zur Stabilitätsprüfung von Treibstoffen kaum noch angewendet.

Abstand

Die Abstände der Gebäude, ihre Bauweise und die Höhe ihrer Belegung mit gefährlichen Stoffen dienen zur Sicherheit in den Sprengstoff herstellenden und verarbeitenden Betrieben und für die Läger der Sprengstoffverbraucher. Sie sind daher behördlich reglementiert durch das Sprengstoffgesetz*), durch die Sprengstofflagerverordnungen der Länder und innerbetrieblich durch die Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit (VGB)**). Die BGV B5 definiert:

*) *Apel-Keusgen*, Sprengstoffgesetz, Carl Heymanns Verlag, Köln
**) Zitate der UVVen siehe → Literaturverzeichnis, S. 390

Abstand (Sicherheitsabstand) der Gebäude untereinander ist die kürzeste Entfernung der einander zugekehrten Begrenzungen (Außenwände). Kleine Anbauten, die nicht dem dauernden Aufenthalt von Personen dienen und die keine Explosivstoffe oder Gegenstände mit Explosivstoff enthalten, bleiben außer Ansatz.

Als Abstand von gefährlichen Plätzen gilt die kürzeste Entfernung der einander zugekehrten Begrenzungen der Explosivstoffe oder Gegenstände mit Explosivstoff.

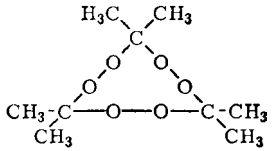
→ auch: Lagerung von Explosivstoffen

Abstichladungen

– „jet-tapper“ – dienen zum Öffnen von Siemens-Martin-Öfen. Es handelt sich um Hohlladungen, die gegen die Hitze mit Keramikumkleidungen abgeschirmt sind. Durch ihre Sprengung wird der Abstichkanal geschaffen. Andere lanzenförmige Ladungen, die ebenfalls thermisch gut isoliert sind, dienen zum Zerlegen von Hochofensauen; man nennt sie „Ladungen zum Sprengen heißer Massen“.

Acetonperoxid

Tricycloacetonperoxid
tricycloacetonperoxide; peroxyde de tricycloacétone;

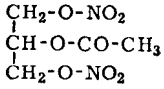


Bruttoformel: $C_9H_{18}O_6$
Mol.-Gew.: 222,1
Sauerstoffwert: –151,3 %
Fp: 91 °C
Bleiblockausbauchung: 250 cm^3/10 g
Schlagempfindlichkeit: 0,03 kp m = 0,3 Nm
Reibempfindlichkeit: bei 0,01 kp = 0,1 N Stiftbelastung
Explosion

bildet sich aus Aceton in schwefelsaurer Lösung durch Einwirkung von 35–45 %igen Wasserstoffperoxid. Es hat Initialsprengstoff-Eigenschaften, fand jedoch wegen seiner Neigung zum Sublimieren keinen Eingang in die Praxis.

Acetyldinitroglycerin

Dinitroacetin; Glycerin-acetat-dinitrat



blaßgelbes Öl
Bruttoformel: $C_5H_8N_2O_8$
Mol.-Gew.: 224,1
Sauerstoffwert: – 42,86 %
Stickstoffgehalt: 12,50 %
Dichte: 1,412 g/cm^3 (15/4)
Kp. (15 mm): 147 °C
Bleiblockausbauchung: 200 cm^3/10 g
Verpuffungspunkt: 170 –180 °C

Die Verbindung ist unlöslich in Wasser, leicht löslich in Alkohol, Ether, Aceton, konz. HNO_3.

Man erhält Acetyldinitroglycerin durch Nitrierung des Acetylglycerins (Acetins) mit Milchsäure, die sehr viel Salpetersäure enthält.

Acetyldinitroglycerin wurde vorgeschlagen als Zusatz zu Nitroglycerin, um dessen leichte Gefrierbarkeit herabzusetzen. Es wurde in der Praxis nicht eingesetzt.

Acremite

→ Akremit

ADR

bedeutet „Accord Européen relatif au Transport International des Marchandises Dangereuses par Route“ und betrifft Transport- und Verpackungsvorschriften für den Verkehr mit gefährlichen Stoffen und Gegenständen über die Straße.

→ Gefahrgutverordnung Straße und Eisenbahn – GGVSE.

In der GGVSE ist für die dort geregelten Beförderungen die Gültigkeit der Anlagen A und B zum ADR ausdrücklich genannt. In Anlehung an das ADR und an das Sprengstoffgesetz wurde 1975 für den innerdeutschen Verkehr das Gesetz über die Beförderung gefährlicher Güter*) (Gefahrgutbeförderungsgesetz – GGBefG) erlassen.

*) Text und Kommentar: *Apel-Keusgen*, Sprengstoffgesetz, Carl Heymanns Verlag, Köln

Aerozin

ist ein Brennstoff für Flüssig-Raketen-Antriebe, bestehend aus

50 % Hydrazin, wasserfrei, und
50 % unsymm. Dimethylhydrazin.

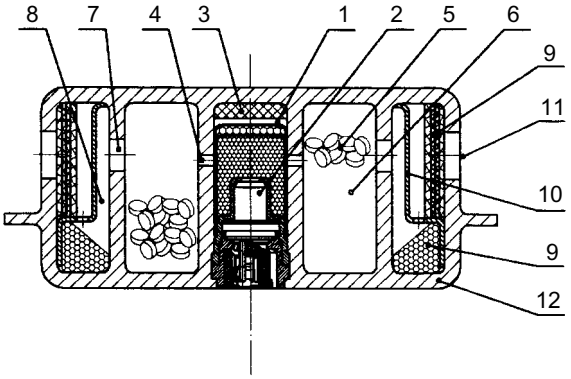
AGARD

Abkürzung für Advisory Group for Aeronautical Research and Development bei der NATO.

Airbag

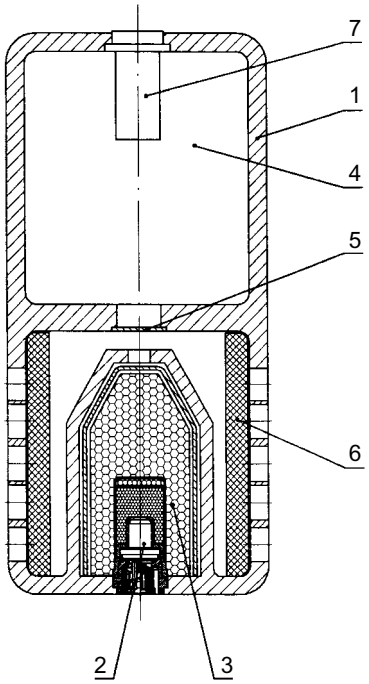
Die Grundidee des Airbag als passives Rückhaltesystem im Kraftfahrzeug wurde bereits 1951 in Deutschland erstmalig patentiert. Erst Ende der 60er Jahre aber wurde mit der Entwicklung der zwei Grundtypen begonnen, die bis heute (nahezu) ausschließlich in Serie hergestellt und mit 1975 beginnend und ab 1990 fast immer regelmäßiger in Autos eingebaut werden.

Im ersten Fall wird der Gassack (Airbag) im Heißgas aufgeblasen, im anderen Fall erfolgt die Füllung des Gassackes mittels eines sogenannten hybriden Gasgenerators, bei dem das Gas ständig in einem Druckbehälter vorgelegt ist und nach der pyrotechnischen Zündung ausströmen kann. Da dieses Gas nicht pyrotechnisch erzeugt werden muß, kommt es als Kaltgas zur Wirkung (dieses Gas wird sogar, um beim Expandieren nicht zu stark abzukühlen, meistens pyrotechnisch nachgeheizt). Beide Grundtypen der Gasgeneration für Airbag, der pyrotechnische wie auch der Hybrid-Gasgenerator, werden für Fahrer, Beifahrer und Seitenairbags eingesetzt und besitzen folgenden schematischen Aufbau:



1. Anzündkammer
2. Anzündeinheit
3. Frühzündeinheit
4. Düsenbohrungen
5. Gassatz
6. Brennkammer
7. Düsenbohrungen
8. Filterkammer
9. Filter
10. Umlenkblech
11. Filterkammeröffnungen
12. Gasgeneratorgehäuse

AIRBAG
Pyrotechnischer Gasgenerator (Schnittbild)



1. Hybrid-Gasgeneratorgehäuse
2. Anzünder
3. Pyrotechnischer Satz
4. Hochdruckbehälter
5. Dichtscheibe
6. Filterpack
7. Druckmeßvorrichtung

AIRBAG
Hybrid-Gasgenerator (Schnittbild)

Aus thematischen Gründen werden die *hybriden* Gasgeneratoren nur kurz vorgestellt. Beim Hybridsystem lagern die vorgespannten Gase (Luft, Stickstoff, Argon) in Hochdruckbehältern, die mit einer Platzmembrane versehen sind. Durch pyrotechnisch hervorgerufenes Öffnen dieser Membrane kann das Gas in den Luftsack ausströmen. Ebenso pyrotechnisch wird die Abkühlung des expandierenden Arbeitsgases aus- oder sogar überkompensiert. Da die Gesamtmenge des pyrotechnischen Satzes mengenmäßig gering ist, sind die vorgeschriebenen Grenzwerte der im Arbeitsgas enthaltenen toxischen Verunreinigungen relativ leicht einzuhalten.

Dieses ist, neben der idealen Temperatur des Arbeitsgases, der Hauptvorteil der hybriden Gasgeneratoren. Der Nachteil dieser Version ist das hohe Gewicht der Gasflasche, die der Druckbehälterverordnung unterliegt, und der hohe Geräuschpegel, der beim Öffnen der Dichtscheibe entsteht, da anfangs der volle Gasdruck ansteht.

Die Eigenart von nahezu allen *pyrotechnischen* Gasgeneratoren (speziell auf der Fahrerseite) ist ein konzentrischer Aufbau von drei verschiedenen Kammern, die je nach ihren Druckverhältnissen und Funktionen unterschiedlich ausgelegt sind. Die innerste Kammer mit der höchsten Druckfestigkeit enthält die Anzündeinheit, bestehend aus Stecker, elektr. Zündpille und dem Anzündsatz. Je nach Generatoraufbau kann auch eine Frühzündeinheit mit der Aufgabe installiert sein, im Fall von äußerer, starker Hitzeeinwirkung – etwa bei einem Brand – stromlos den Gassatz anzuzünden. Bei normaler, elektrischer Zündung wird der dünne Widerstandsdraht der Zündpille zum Schmelzen gebracht und die Zündkette gestartet. Beim Abbrennen des Anzündsatzes – meistens ein Bor/Kaliumnitrat-Gemisch – strömen die entstandenen heißen Gase und Partikel durch die peripheren Bohrungen in die mit dem Gassatz angefüllte Brennkammer, welche konzentrisch um die Anzündkammer angeordnet und auf einen Arbeitsdruck von 100–180 bar ausgelegt ist. Der Gassatz besteht aus gepreßten Tabletten, die nach ihrer Entzündung zu Arbeitsgas und Schlackestoffen verbrennen. Die Verbrennungsprodukte verlassen die Brennkammer durch die Düsenbohrungen. Um die Brennkammer angeordnet ist der Niederdruckbereich der Filterkammer. Die Filterkammer ist mit verschiedenen Stahlfiltern und Umlenkblechen ausgestattet. In der Filterkammer werden die heißen Gase abgekühlt und von den flüssig/festen Schlackestoffen befreit. Das entstandene Arbeitsgas durchströmt die Filterkammeröffnungen in Richtung Gassack. Die flüssigen Schlackestoffe müssen in der Filterkammer bis zu ihrer Erstarrung abgekühlt werden, so daß auch sie dort ausfiltriert werden können. Es ist klar, daß die Beschaffenheit des Gassatzes – früher Treibstoff bzw. Treibsatz genannt – hinsichtlich der Lieferung der Gasschwaden beim Abbrand von eminenter Bedeutung ist. Grundaufgabe eines Gasgenerators ist, im Bedarfsfall binnen ca.

40 ms soviel nichttoxisches Gas zu liefern, daß der Luftsack auf Solldruck aufgeblasen wird. Von Mitte der 70er bis Mitte der 90er Jahre basierte die große Mehrzahl von Gassätzen in pyrotechnischen Generatoren auf → Natriumazid. Natriumazid reagiert mit Oxidatoren, die, unter der Freisetzung von Stickstoff, daß entstehende Natrium chemisch binden. Als Oxidatoren setzten sich Alkali- und Erdalkalinitrate, Metalloxide (z. B. CuO, Fe_2O_3), Metallsulfide (z. B. MoS_2) und Schwefel durch. Bei Bedarf wurden noch Schlackebildner (z. B. SiO_2, Alumosilikate) zugesetzt.

Fortschreitendes Umweltbewußtsein bewirkt, daß die azidhaltigen Gassatzmischungen wegen ihrer Toxizität des Natriumazids ersetzt werden sollen, und dies trotz niedriger Reaktionstemperatur, reiner Stickstoffausbeute und großer Langzeitstabilität. Gegen Natriumazid spricht jedoch, daß eine weltweite korrekte Entsorgung unbenützter Gassätze, die jährlich im Tausendtonnenmaßstab anfallen, bis jetzt nicht sichergestellt ist.

Bezüglich azidfreier Gassätze gibt es eine Vielzahl von Patenten und erste Anwendungen seit Anfang der 90er Jahre. Diese neuen Gassätze erzeugen mehr Gas pro Gramm (Gasausbeute von NaN_3-haltigen Gassätzen: 0,30 – 0,35 l/g) und erlauben so eine kleinere und z. T. leichtere Bauweise der Gasgeneratoren. Sie können in drei Kategorien eingeteilt werden:

– Stickstoffreiche organische Verbindungen (C, H, O, N) werden mit anorganischen Oxidatoren kombiniert:
  Als Brennstoff dienen z. B. 5-Aminotetrazol, Azodicarbonamid, → Guanidinnitrat, → Nitroguanidin, Dicyandiamid, → Triaminoguanidinnitrat und ähnliche Verbindungen, aber auch Salze von z. B. 5-Nitrobarbitursäure, Harnstoffderivaten, sowie → Nitramine und ähnliche Verbindungen.
  Oxidatoren sind z. B. Alkali- oder Erdalkali-Nitrate, → Ammonium-, Alkali- oder Erdalkali-Perchlorate, Metalloxide.
  Gasausbeute dieser Sätze: 0,50 – 0,65 l/g.
– → Cellulosenitrate in Kombination (Gelbildung) mit Salpetersäureestern von Polyolen (plus → Stabilisatoren und Weichmachern), z. B. NC/NGL (→ Nitroglycerin) oder NC/EDDN (→ Ethylendiamindinitrat).
  Aufgrund der ungünstigen Sauerstoffbilanz muß zur Vermeidung von zuviel CO-Bildung nachoxidiert werden (z. B. mit Hopcalit). Trotz günstiger Rohstoffkosten muß hier die ungünstige Langzeitstabilität, s. u. beachtet werden.
  Gasausbeute des Satzes: 0,8 – 0,9 l/g (ohne Einbeziehung der Nachoxidation).
– Sauerstoffreiche, stickstofffreie organische Verbindungen (C, H, O) werden mit anorganischen Oxidatoren abgemischt. Als Brennstoff dienen z. B. Tri- oder Dicarbonsäuren (z. B. Zitronensäure, Wein-

säure, Fumarsäure) oder ähnliche Verbindungen. Für die Oxidation finden speziell Perchlorate und Chlorate unter zusätzlicher Zuhilfenahme von Metalloxiden Verwendung. Auf diese Weise kann jegliche NO_X-Bildung ausgeschlossen werden.
Gasausbeute des Satzes: 0,5 – 0,6 l/g

Die Herstellung der Gassätze erfolgt gewöhnlich durch Mahlen und Vermischen der Rohstoffe, die nach einem Vorkompaktierungsschritt auf (Rundläufer-)Pressen zu Pellets oder Scheiben verpreßt und anschließend ausgewogen werden. Die → nitrocellulosehaltigen Gassätze erfahren ihre Formgebung nach dem Gelatinieren in der üblichen Weise.

Daß der Übergang von azidhaltigen zu azidfreien Gassätzen nicht einfach ist, ist auf folgende Probleme zurückzuführen:
- Die wesentlich höheren Verbrennungstemperaturen stellen sowohl an das Gasgeneratorgehäuse, als auch den Luftsack höhere Ansprüche.
- Die Abkühlungskurve der Verbrennungsgase ist steiler und muß berücksichtigt werden.
- Die Kondensation/Filterung der flüssigen/festen Schlackeanteile ist temperaturbedingt schwieriger (Feinstaubproblematik).
- Nitrocellulosehaltige Gassätze können beim Langzeit-Temperaturtest (400 Stunden bei 107 °C; Gewichtsverlust-Soll: < 3 %), sowie bei Wechseltemperaturlagerung (→ Ausschwitzen) Schwierigkeiten machen.
- Die Langzeitstabilität der diversen azidfreien Gassätze ist noch nicht hinlänglich bekannt.
- Beim Verbrennen organischer Substanzen besteht die Neigung, trotz ausgeglichener Sauerstoffbilanz toxische Gase als Nebenprodukte entstehen zu lassen, die aber wie folgt limitiert sind:

Effluent Gas Limits
Time weighted Average

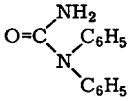
Effluent Gas	**Vehicle Level Limit**	**Driverside Limit**
Chlorine (Cl_2)	5 ppm	1,7 ppm
Carbon Monoxide (CO)	600 ppm	200 ppm
Carbon Dioxide (CO_2)	20,000 ppm	6,700 ppm
Phosgene ($CoCl_2$)	1 ppm	0,33 ppm
Nitric Oxide (NO)	50 ppm	16,7 ppm
Nitrogen Dioxide (NO_2)	20 ppm	60,7 ppm
Ammonia (NH_3)	150 ppm	50 ppm
Hydrogen Chloride (HCl)	25 ppm	8,3 ppm
Sulfur Dioxide (SO_2)	50 ppm	16,7 ppm
Hydrogen Sulfide (H_2S)	50 ppm	16,7 ppm
Benzene (C_6H_6)	250 ppm	83,3 ppm
Hydrogen Cyanide (HCN)	25 ppm	8,3 ppm
Formaldehyde (HCHO)	10 ppm	3,3 ppm

Ein genereller Trend zu einem bestimmten Brennstoff ist bei den azidfreien Gassätzen z. Z. nicht zu erkennen, da die Größe des Marktes ein großes Variantenangebot mit unterschiedlichen Anforderungen nach sich zieht.

So werden z. B. Flüssiggasgeneratoren beschrieben, bei denen kohlenstofffreie Verbindungen zum Einsatz gebracht werden, die sich zudem schlackefrei in Arbeitsgase umsetzen lassen, wie z. B. Systeme aus Hydrazin/Hydrazinnitrat.

Akardit I

diphenylurea; diphénylurée; Diphenylharnstoff



Bruttoformel: $C_{13}H_{12}N_2O$
Mol.-Gew.: 212,2
Bildungsenergie: –117,3 kcal/kg = – 491,0 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –138,2 kcal/kg = –578,6 kJ/kg
Sauerstoffwert: –233,7 %
Stickstoffgehalt: 13,21 %

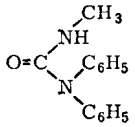
Akardit I dient als → Stabilisator für Schießpulver, besonders für Nitroglycerin-Pulver; es geht als Gelatinator in das Pulvergel ein.

Technische Reinheitsforderungen

Schmelzpunkt:	
nicht unter	183 °C
Feuchtigkeit: nicht über	0,2 %
Aschegehalt: nicht über	0,1 %
Chloride als NaCl:	
nicht über	0,02 %
Säure, als Verbrauch von	
n/10 NaOH/100 g: nicht über	2,0 cm^3

Akardit II

methyldiphenylurea; N-méthyl-N'N'-diphénylurée; Methyldiphenylharnstoff



Bruttoformel: $C_{14}H_{14}N_2O$
Mol.-Gew.: 226,3
Bildungsenergie: –90,5 kcal/kg = –378,7 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –112,7 kcal/kg = – 471,8 kJ/kg
Sauerstoffwert: –240,4 %
Stickstoffgehalt: 12,38 %

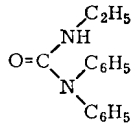
Akardit II ist ein besonders wirksamer → Stabilisator für mehrbasige, lösemittelfreie Schießpulver. Sein Stabilisierungsvermögen beträgt ca. das 3fache des sonst hierfür hauptsächlich verwendeten Centralit I.

Technische Reinheitsforderungen

wie für Akardit I, jedoch
Schmelzpunkt:
nicht unter 170 °C

Akardit III

ethyldiphenylurea; N-éthyl-N'N'-diphénylurée; Ethyldiphenylharnstoff



Bruttoformel: $C_{15}H_{16}N_2O$
Mol.-Gew.: 240,3
Bildungsenergie: –128,5 kcal/kg = –537,9 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –151,9 kcal/kg = –635,9 kJ/kg
Sauerstoffwert: –264,4 %
Stickstoffgehalt: 11,65 %

Akardit III wird als → Stabilisator und als Gelatinator in mehrbasigen, lösemittelfreien Schießpulvern verwendet.

Technische Reinheitsforderungen

wie für Akardit I, jedoch
Schmelzpunkt:
nicht unter 69 °C

Akremit

Acremite

ist eine ältere amerikanische Bezeichnung für → ANC-Sprengstoffe, in neuerer Zeit werden sie mit ANFO bezeichnet.

Aktive Binder

→ energetische Binder

Alginate

Salze der Alginsäure, die die Fähigkeit besitzen, das 200- bis 300fache ihres Gewichtes an Wasser zu binden. Man setzt sie Sprengstoffmischungen als Quellmittel oder Gelbildner zu, um deren Wasserfestigkeit, und zu Sprengschlämmen (→ „Slurries"), um die Viskosität zu erhöhen.

Aluminium-Pulver

wird vielfach Sprengstoffen und Treibmitteln zugesetzt, um deren schiebende Wirkung zu verbessern. Durch die außerordentlich hohe Bildungswärme von Aluminiumoxid kann man durch diese Beimischung einen erheblichen Zuwachs an Kalorien erreichen und den Schwaden eine höhere Temperatur erteilen. Die Bildungswärme von Al_2O_3 beträgt 396 kcal/Mol bzw. 3884 kcal/kg = 16 260 kJ/kg. Es ist denkbar, daß das Aluminium in der Primärdetonation nicht vollständig umgesetzt wird, sondern erst im Schwadenbereich restlos reagiert. Man erklärt so die besonders nachhaltig schiebende Wirkung („Nachheizung"). Wird das Sprengstoffgemisch mit Aluminium überlastet, erreicht man eine typische Gasschlagwirkung, da die Sprenggase bei weiterer Untermischung mit Luftsauerstoff einer Nachexplosion fähig sind. → Unterwasserdetonationen.

Bekannte Mischungen von Sprengstoffen mit Aluminiumpulver sind Ammonale, DBX, HBX-1, Hexal, Minex, Minol, Torpex, Trialen 105, Tritonal und Schießwolle 18, Hexotonal.

Auch bei Raketentreibmitteln (Composite Propellants) haben sich gewisse Zusätze von Aluminium als besonders wirkungssteigernd erwiesen. Andere Metallpulver sind für den gleichen Zweck in Erwägung zu ziehen, wie Zinkpulver, Magnesiumpulver, Calciumsilicid u. a.

Die bekannte Wirkungssteigerung durch Aluminiumpulver wird vielfach in den → Sprengschlämmen („Slurries") angewendet.

Amatex

ist ein gießbares Gemisch aus Trinitrotoluol, Ammonsalpeter und Hexogen.

Amatole

sind gießbare Gemische aus Ammonsalpeter und Trinitrotoluol, die in weitem Rahmen in der Zusammensetzung variierbar sind (40/60, 50/50, 80/20). Das Gemisch 80/20 läßt sich durch Schneckenpressen verfüllen.

Ammonale

sind preßbare bzw. gießbare Gemische, welche Ammonsalpeter und Aluminiumpulver enthalten. Aus den USA ist eine gießbare Mischung von 67 % TNT, 22 % NH_4NO_3 und 11 % Al-Pulver bekannt, während in Deutschland im ersten Weltkrieg gepreßte Ladungen (30/54/16) eingesetzt wurden.

Im einfachsten Falle sind Ammonale pulverförmige (nicht gepreßte) Gemische aus Ammonsalpeter und Aluminium, wobei etwa 4 % Aluminiumzusatz zum Erzielen der Detonierbarkeit schon ausreichen, das Leistungsmaximum aber etwa bei 17 % Aluminium erreicht wird.

Ammongelite 2 und 3*)

Sprengtechnische Daten	Ammongelit 2	Ammongelit 3	
Beschaffenheit	gelatinös, rot	gelatinös rot	
Sauerstoffwert	+1,3	+3,62	%
Normalgasvolumen	864	807	l/kg
Explosionswärme (H_2O gas)	4748	4375	kJ/kg
Spezif. Energie	1128	1000	kJ/kg
Energiedichte	1648	1500	kJ/l
Dichte	1,44	1,50	g/cm^3
Bleiblockausbauchung	390	370	cm^3
relative weight strength	88	84	%
Detonationsgeschwindigkeit freiliegend	2300	2300	m/s
Detonationsgeschwindigkeit unter Einschluß	5800	5400	m/s
Stauchung nach Kast	5,0	4,6	mm
Stauchung nach Heß	19	18,5	mm
Schlagempfindlichkeit	4	5	Nm

Die Ammon-Gelite sind handhabungssichere, gelatinöse Ammonsalpeter-Sprengstoffe mit abgestuftem Gehalt an gelatiniertem Nitroglykol.

In ihrer Arbeitsleistung sind sie der des Dynamits nahezu gleichwertig. Sie eignen sich zum Sprengen von zähen und harten Gesteinen und Erzen. Die gute Wasserbeständigkeit ermöglicht ihren Einsatz auch bei nassen Bohrlöchern. Sie sind praktisch nicht gefrierbar; allerdings ist bei Temperaturen unter 0 °C eine kräftige Initiierung mittels → Sprengschnur mit einem Füllgewicht von mindestens 40 g/m vorgeschrieben.

Ammonite

ammonia dynamites; explosifs nitratés

„Ammonit“ bezeichnet Ammonsalpeter-basierte pulverförmige Gesteinsprengstoffe *ohne* Nitroglycerin bzw. Nitroglykol, jedoch *mit* explosionsfähigen aromatischen Nitroverbindungen, im wesentlichen Nitrotoluolen. Sie werden neuerdings gemäß den Durchführungsverordnungen zum Sprengstoffgesetz von 1969 als „PA-Sprengstoffe“ bezeichnet.

*) Die Fertigung von Ammongelit 1 wurde eingestellt.

Ammonit 3

Sprengtechnische Daten	
Beschaffenheit	pulvrig grau
Sauerstoffwert	+1,15 %
Normalgasvolumen	855 l/kg
Explosionswärme (H_2O gas)	4702 kJ/kg
Spezifische Energie	1089 kJ/kg
Energiedichte	1039 kJ/l
Dichte	1,0 g/cm^3
Bleiblockausbauchung	405 cm^3/10 g
relative weight strength	88 %
Detonationsgeschwindigkeit freiliegend	3300 m/s
Detonationsgeschwindigkeit unter Einschluß	4400 m/s
Stauchung nach *Kast*	4,3 mm
Stauchung nach *Heß*	19 mm
Schlagempfindlichkeit	12 Nm

Ammonit 3 ist ein aluminiumhaltiger Ammonsalpeter-Sprengstoff hoher Arbeitsleistung. Er kommt hauptsächlich als sogenannter „Lawinensprengstoff“ zum Einsatz und wird zu diesem Zweck in großkalibrigen Patronen mit zweifacher Kunststoffumhüllung (doppelt eingeschlaucht) geliefert.

Ammoniumazid

ammonium azide; azoture d’ammonium; stickstoffwasserstoffsaures Ammonium

$(NH_4)N_3$

wasserhelle Kristalle
Bruttoformel: N_4H_4
Mol.-Gew.: 60,1
Bildungsenergie: 1587,2 kJ/kg
Bildungsenthalpie: 1422,1 kJ/kg
Sauerstoffwert: –53,3 %
Stickstoffgehalt: 93,23 %

Dissoziationsdruck:

Millibar	Temperatur °C
1,3	29,2
7	49,4
13	59,2
27	69,4
54	80,1
80	86,7
135	95,2
260	107,7
530	120,4
1010	138,8

Die Darstellung von Ammoniumazid erfolgt durch die Umsetzung einer Lösung von Ammoniumchlorid und Natriumazid in Dimethylformamid bei 100 °C und anschließendem Abdestillieren des Lösungsmittels im Vakuum.

Wegen ihres hohen Dissoziationsdruckes hat die Verbindung noch keine praktische Bedeutung erlangt.

Ammoniumchlorid

ammonium chloride; chlorure d'ammonium

NH_4Cl

farblose Kristalle
Molekulargewicht: 53,49
Bildungsenergie: –1368 kcal/kg = –5724 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –1401 kcal/kg = –5862 kJ/kg
Sauerstoffwert: –44,9 %
Stickstoffgehalt: 26,19 %
Sublimationspunkt: 335 °C

Ammoniumchlorid dient zusammen mit Alkalinitraten als Reaktionspartner in den sog. Salzpaar-Wettersprengstoffen (→ Wettersprengstoffe).

Technische Reinheitsforderungen

Reingehalt: mindestens	99,5 %
Feuchtigkeit: nicht über	0,04 %
Glührückstand: nicht über	0,5 %
Ca; Fe; SO_4; NO_3: nicht über	Spuren
pH-Wert:	4,6–4,9

Ammoniumdichromat

ammonium dichromate; dichromate d'ammonium

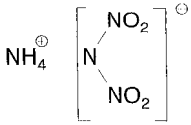
$(NH_4)_2Cr_2O_7$

orangerote Kristalle
Mol.-Gew.: 252,1
Bildungsenergie: –1693 kcal/kg = –7084 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –1713 kcal/kg = –7167 kJ/kg
Sauerstoffwert: ± 0 %
Dichte: 2,15 g/cm^3
Stickstoffgehalt: 11,11 %

zersetzt sich beim Erwärmen, ist jedoch kein Sprengstoff. Es findet in pyrotechnischen Sätzen Verwendung und gilt als wirksamer Zusatz bei Treibmitteln auf Ammoniumnitrat-Basis, um die Zerfallreaktion zu katalysieren.

Ammoniumdinitramid

ammonium dinitramide; ADN



Bruttoformel: $H_4N_4O_4$
Mol.-Gew.: 124,06
Bildungsenergie: –259,96 kcal/kg = –1086,6 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –288,58 kcal/kg = –1207,4 kJ/kg
Sauerstoffwert: +25,8 %
Stickstoffgehalt: 45,1 %
Normalgasvolumen: 1084 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 798 kcal/kg = 3337 kJ/kg
(H_2O gas): 638 kcal/kg = 2668 kJ/kg
Spezif. Energie: 85,9 mt/kg = 843 kJ/kg
Dichte: 1,812 g/cm^3 bei 20 °C
F.: 92,9 °C (Zersetzung ab 135 °C)
Schlagempfindlichkeit: 0,4 kp m = 4 Nm
Reibempfindlichkeit: 6,5 kp = 64 N

Man gewinnt Ammoniumdinitramid durch Ammonolyse von Dinitroaminen, welche durch stufenweise Nitrierung von Urethanen, β,β-Iminodipropionitril oder Nitramid entstehen. Die jeweils letzte Nitrierstufe erfordert stärkste Nitrierreagenzien wie Nitroniumtetrafluoroborat oder

Distickstoffpentoxid. Ein anderes Verfahren führt über die direkte Nitrierung von Ammoniak mit Distickstoffpentoxid zu einem Produktgemisch von ADN und → Ammonsalpeter. ADN erscheint aufgrund seiner guten → Sauerstoffbilanz und hohen → Bildungsenthalpie als halogenfreies Oxidationsmittel für Raketenfesttreibstoffe interessant und ist derzeit Gegenstand intensiver Untersuchungen.

Ammoniumperchlorat

ammonium perchlorate; perchlorate d'ammonium; APC

NH_4ClO_4

farblose Kristalle
Mol.-Gew.: 117,5
Bildungsenergie: −576,5 kcal/kg = −2414 kJ/kg
Bildungsenthalpie: −602,0 kcal/kg = −2518 kJ/kg
Sauerstoffwert: +34,04 %
Dichte: 1,95 g/cm^3
F.: Zersetzung beim Erhitzen
Bleiblockausbauchung: 195 cm^3
Normalgasvolumen: 803 l/kg
Explosionswärme (H_2O fl.): 471 kcal/kg = 1972 kJ/kg
Spezif. Energie: 52,4 mt/kg = 532 kJ/kg
Verpuffungspunkt: 350 °C
Schlagempfindlichkeit: 1,5 kpm = 15 Nm

Man gewinnt Ammoniumperchlorat durch Neutralisieren von Ammoniak mit Überchlorsäure. Durch Kristallisation wird es gereinigt.

Ammoniumperchlorat dient als wichtigster Sauerstoffträger für Raketenfesttreibstoffe („composite propellants").

Technische Reinheitsforderungen

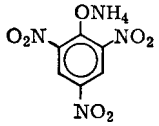
	Grad A	Grad B	Grad C
Reingehalt: mindestens	99,0 %	99,0 %	98,8 %
Wasserunlösliches höchstens	0,03 %	0,01 %	0,25 %
Bromate, als NH_4BrO_3: höchstens	0,002 %	0,002 %	0,002 %
Chloride, als NH_4Cl: höchstens	0,15 %	0,10 %	0,15 %
Chromate, als K_2CrO_4: höchstens	0,015 %	0,015 %	0,015 %
Eisen als Fe: höchstens	0,003 %	0,003 %	0,003 %
Schwefelsäure-Abrauchrückstand: höchstens	0,3 %	0,3 %	0,3 %
Feuchtigkeit (H_2O total): höchstens	0,08 %	0,05 %	0,08 %
Oberflächen-Feuchte: höchstens	0,020 %	0,015 %	0,020 %
Asche, sulfatiert: höchstens	0,25 %	0,15 %	0,45 %
Chlorate, als NH_4ClO_3: höchstens	0,02 %	0,02 %	0,02 %
Na und K: höchstens	0,08 %	0,05 %	0,08 %
$Ca_3(PO_4)_2$:			0,15–0,22 %
pH:	4,3–5,3	4,3–5,3	5,5–6,5

Körnungsklassen

Klasse 1: Durchgang durch Siebe 420 und 297 µm;
Verbleib auf Sieb 74 µm;
Klasse 2: Durchgang durch Sieb 297 µm;
Klasse 3: Durchgang durch Sieb 149 µm;
Klasse 4: 50–70 % Durchgang durch Sieb 210 µm;
Klasse 5: Durchgang durch Sieb 297 µm;
Verbleib auf Sieb 105 µm;
Klasse 6: 89–97 % Durchgang durch Sieb 297 µm;
Klasse 7: 45–65 % Durchgang durch Sieb 420 µm.

Ammoniumpikrat

ammonium picrate; picrate d'ammonium;
Ammonium-2,4,6-trinitrophenolat; explosive „D"



gelbe Kristalle
Bruttoformel: $C_6H_6N_4O_7$
Mol.-Gew.: 246,1
Bildungsenergie: –355,0 kcal/kg = –1486,1 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –375,4 kcal/kg = –1571,7 kJ/kg
Sauerstoffwert: –52,0 %
Stickstoffgehalt: 22,77 %
Normalgasvolumen: 999 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 674 kcal/kg = 2820 kJ/kg
(H_2O gas): 643 kcal/kg = 2690 kJ/kg
Spezif. Energie: 85,0 mt/kg = 834 kJ/kg
Dichte: 1,72 g/cm^3
F. (unter Zersetzung): 265–271 °C
Bleiblockausbauchung: 280 cm^3/10 g
Detonationsgeschwindigkeit:
7150 m/s bei ϱ = 1,6 g/cm^3
Verpuffungspunkt: 320 °C
Schlagempfindlichkeit: bis 2 kp = 20 Nm keine Reaktion

Löslich in Wasser, Alkohol, Aceton, praktisch unlöslich in Ether. Man gewinnt Ammoniumpikrat durch Sättigen einer wäßrigen Lösung von Pikrinsäure mit Ammoniak, wobei zunächst eine „rote Form" entsteht, die in Gegenwart von Wasserdampf, bei längerer Lagerung oder durch Umkristallisieren aus Wasser in die stabile gelbe Form übergeht.

Ammoniumpikrat wurde als militärischer Sprengstoff für Sprengladungen eingesetzt.

Ammonpulver

Im ersten Weltkrieg wurden unter diesem Namen von deutscher Seite Preßlinge aus Kohlenstaub und Ammonsalpeter als Treibmittel für die Artillerie eingesetzt. Auch im zweiten Weltkrieg wurden in Deutschland Ammonpulver für Artillerie und als Raketentreibmittel entwickelt. Der Ammonsalpeter wurde in POL-Pulvermassen eingearbeitet (→ Schießpulver). Die zuletzt genannten Ammonsalpeter-Treibladungen sind nicht mehr zum Einsatz gekommen.

Ammonsalpeter

ammonium nitrate; nitrate d'ammonium; Ammoniumnitrat; AN

NH_4NO_3

farblose Kristalle
Mol.-Gew.: 80,1
Bildungsenergie: –1057,0 kcal/kg = –4425,4 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –1090,3 kcal/kg = –4564,8 kJ/kg
Sauerstoffwert: +19,98 %
Stickstoffgehalt: 34,98 %
Normalgasvolumen: 980 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 627 kcal/kg = 2625 kJ/kg
(H_2O gas): 379 kcal/kg = 1587 kJ/kg
Spezif. Energie: 58,6 mt/kg = 575 kJ/kg
Dichte: 1,72 g/cm^3
F.: 169,6 °C
Schmelzwärme: 18,2 kcal/kg = 76,2 kJ/kg
Bleiblockausbauchung: 180 cm^3/10 g
Detonationsgeschwindigkeit je nach Dichte,
Einschluß und Initiierung: 2500 m/s bei ϱ = 1,4 g/cm^3
Verpuffungspunkt: oberhalb des Schmelzpunktes zunehmende Zersetzung, voll bei 210 °C
Schlagempfindlichkeit: über 5 kp = 49 Nm
Reibempfindlichkeit: bis 36 kp = 353 N Stiftbelastung keine Reaktion
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest: 1 mm

Damit gehört das Salz zwar nicht zu den → explosionsgefährlichen Stoffen, deren Herstellung, Lagerung und Vertrieb dem Sprengstoffgesetz von 1976 (→ Sprengstoffgesetzgebung) unterliegen, wohl aber zu den „gefährlichen Arbeitsstoffen", über deren Handhabung von der Bundesanstalt für gefährliche Arbeitsstoffe (AgA) „Technische Regeln für gefährliche Arbeitsstoffe"*) erlassen worden sind.

Ammoniumnitrat ist hygroskopisch und sehr leicht löslich in Wasser. Es weist bei +125,2 °C, +84,2 °C, +32,3 °C und –16,9 °C Umwandlungspunkte seiner Kristallstruktur auf. Der Umwandlungspunkt bei 32 °C verstärkt im Sommer die Neigung zum „Zusammenbacken". AN wird phasenstabil (PSAN) und sprühkristallisiert (SCAN) vom ICT angeboten.

Die Lieferform in porösen Prills hat erheblich zur Verbesserung der Hantierbarkeit von Ammonsalpeter bei Transport und Lagerung beigetragen; für die Verwendung als → ANC-Sprengstoff ist die Porosität der Prills eine notwendige Voraussetzung.

*) Carl Heymanns Verlag KG, Köln.

Für die gewerblichen Sprengstoffe ist das Ammoniumnitrat neben Nitroglycerin bzw. Nitroglykol der wichtigste Rohstoff überhaupt (→ Ammonsalpeter-Sprengstoffe). Auch für die Treibmittel, insbesondere Raketentreibstoffe, besitzt Ammonsalpeter Bedeutung als restlos vergasbarer Sauerstoffträger.

Technische Reinheitsforderungen

Reingehalt (z. B. aus N-Bestimmung):	
mindestens	98,5 %
Glührückstand (nicht sandig!):	
höchstens	0,3 %
Chloride als NH_4Cl: höchstens	0,02 %
Nitrite:	keine
Feuchtigkeit: höchstens	0,15 %
Ca; Fe; Mg; nur	Spuren
Reaktion gegen Methylorange:	neutral
Abeltest bei 82 °C: mindestens	30 min.
pH:	5,9 ± 0,2
etherlösliches: höchstens	0,05 %
Säure als HNO_3: höchstens	0,02 %
Zusätzlich für Prills:	
Borsäure:	0,14 ± 0,03 %
Schüttdichte: mindestens	0,8 g/cm^3

Dazu muß eine gewisse Mindest-Porosität, aber auch Abriebfestigkeit des Prillkorns verlangt werden.

Ein Maß für die Porosität von Prills, die für ANC-(ANFO-)Sprengstoffe bestimmt sind, läßt sich am einfachsten durch eine „ad hoc"-Methode gewinnen: man sättigt eine bestimmte Einwaage von Prills flachliegend mit der betreffenden Mineralöl-Fraktion, läßt eine bestimmte Zeit, z. B. 10 min abtropfen und bestimmt die Gewichtszunahme. Für poröse Prills beträgt sie dann über 20 %, die natürlich auch Oberflächen-Benetzung enthalten; diese kann man allerdings auch durch eine kurze Ether-Behandlung entfernen, um ein echteres Maß für die Innen-Porosität zu gewinnen; beide Methoden sind natürlich nur relativ und liefern bei genau gleicher Ausführung nur Vergleichszahlen; man läßt sie am besten immer durch den gleichen Laboranten ausführen.

Für die Messung der Abriebfestigkeit („Friabilität") wird von den Houillères du Bassin de Lorraine, Werk St. Avold, folgende Methode angegeben:

die gesiebten, also trümmer-freien Prills werden mittels Trichter in einen Gummischlauch gefüllt, welcher durch ein Walzenpaar gequetscht wird.

als Friabilität wird der Prozentsatz an Prills definiert, welche bei folgender Versuchsanordnung zerbrechen:

Die Apparatur besteht aus:

zwei Aluminium-Walzen, ⌀ 80 mm, Länge 80 mm, auf Kugellager montiert, Walzenabstand 15 mm, auf einem Blechgestell befestigt;

einer Winde mit Getriebemotor, Achse 18 mm ⌀, 16 UpM; die Winde zieht ein Kabel mit einem Haken und ist 80 cm von der Achse der Walzen entfernt;

einem Gummischlauch 17×23 mm, Länge 75 cm, an einem Ende durch eine feste Klammer, an dem anderen Ende durch eine bewegliche Klammer, die mit einem Haken versehen ist, geschlossen. (Der Schlauch wird zweckmäßigerweise alle 3 Monate ausgewechselt.)

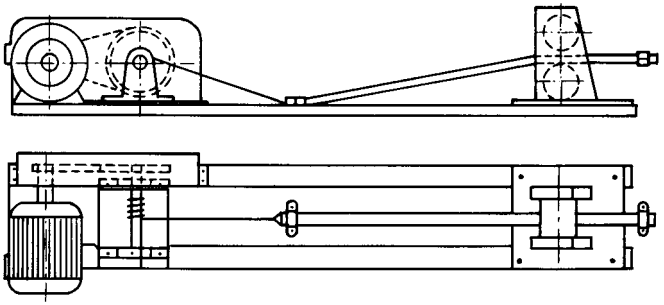


Abb. 1. Bestimmung der Friabilität von Ammonsalpeterprills

Vorgang der Bestimmung:

Prills sieben (Maschenweite 0,5 mm), einwiegen (100 g) und mittels Trichter in den Gummischlauch unter Rütteln (ca. 10 Schläge mit Spatel auf die Schlauchlänge verteilt) einbringen. Die bewegliche Klammer genau an der Stelle schließen, bis zu der der Nitratinhalt im Rohr reicht.

Das Ende des Schlauches zwischen die Walzen legen, das Kabel am Haken befestigen, Motor anstellen, das Rohr durch die Walzen führen.

Nach vollständiger Durchführung durch die Walzen, Schlauch aufklammern, Nitrat sieben, den entstandenen Staub wiegen und als Prozent Sprödigkeit angeben.

Ammonsalpeter-Sprengstoffe (Ammoniumnitrat-Sprengstoffe)

ammonium nitrate explosives; explosifs au nitrate d'ammonium

Ammonsalpeter-Sprengstoffe sind Mischungen, die vorwiegend Ammoniumnitrat neben Kohlenstoffträgern, wie Kohle, Öle oder Holzmehl, teilweise auch Aluminium-Pulver enthalten. Zur Erhöhung der Sprengkraft und Empfindlichkeit werden organische Nitroverbindungen, z. B. Di- oder Trinitrotoluol und Sprengöle, wie Nitroglycerin, Nitroglykol u. a., zugegeben.

Ohne solche Zusätze haben unpatroniert angewendete Gemische aus porösen Ammonsalpeterprills und flüssigen Kohlenwasserstoffen unter der Bezeichnung „PAC-Sprengstoffe“ (ältere bzw. aus dem Ausland stammende Bezeichnungen sind → „Akremite“, „ANFO“, „ANC“) breite Anwendung gefunden.

Bei niedrigem Gehalt an Sprengöl (4–6 %) sind die Ammonsalpetersprengstoffe mit einer Dichte von 0,9 bis 1,0 g/cm^3 pulverförmig, dagegen bei hohem Gehalt an Sprengöl (mit Collodiumwolle gelatiniert) mit einer Dichte von 1,5 bis 1,6 g/cm^3 von gelatinöser Beschaffenheit. Sie zeichnen sich durch gute Handhabungssicherheit aus. In pulverförmiger Form ist die Beständigkeit gegen Feuchtigkeit gering.

Wasserhaltige Ammonsalpetersprengstoffe, die meistens Aluminium, zuweilen auch TNT als Komponenten enthalten, werden → „Sprengschlämme“ („Slurries“) genannt.

Sofern man den Ammonsalpeter-Sprengstoffen zur Erniedrigung der Explosionstemperatur und zur Verringerung der Flammenbildung inerte Salze, wie Natrium- oder Kaliumchlorid, zusetzt, erhält man einen Typ der sogen. Wettersprengstoffe.

Ammon-Gelite sind gelatinöse Ammonsalpeter-Sprengstoffe, die neben Ammonsalpeter und Nitrotoluolen als Hauptkraftträger in wechselnder Menge vorzugsweise mit Collodiumwolle gelatiniertes Nitroglykol enthalten.

Amorces

Bezeichnung für Zündplättchen für Kinderspielzeug, die als schlagempfindliches Gemenge Kaliumchlorat und roten Phosphor enthalten. In der französischen Sprache bezeichnet amorce Zünder oder Anzünder.

ANC-Sprengstoffe

ANC-Sprengstoffe sind handhabungssichere, pulverförmige oder rieselfähig granulierte Gesteinssprengstoffe auf der Basis von AN = Ammoniumnitrat und C = Kohlenstoffträger, die mit einer Verstärkerladung gezündet werden müssen (Ammon-Gelite, Geosit oder → Sprengschnur mit mindestens 30 g/m Füllgewicht).

Sie werden vorzugsweise aus → Ammonsalpeter in Form poröser Prills und etwa 6 % flüssigen Kohlenwasserstoffen hergestellt. Da sie infolge ihrer Unempfindlichkeit keine sichere Detonationsübertragung von Patrone zu Patrone gewährleisten, werden sie in ununterbrochener Ladesäule angewendet; sie werden daher in senkrechte Bohrlöcher durch Schütten und in waagerechte Bohrlöcher durch Einblasen aus

→ Sprengstoffladegeräten mit Schlauch geladen. Eine gute Rieselfähigkeit, begünstigt durch die Prill-Struktur, ist hierfür Voraussetzung.

Da der hygroskopische Ammonsalpeter ungeschützt ist, sind ANC-Sprengstoffe in sehr nassen Bohrlöchern nicht anwendbar.

→ Andex

Andex 1

Sprengtechnische Daten:
Beschaffenheit: rot, rieselfähig
Sauerstoffwert: –1,4 %
Normalgasvolumen: 976 l/kg
Explosionswärme (H_2O gas): 904 kcal/kg = 3781 kJ/kg
Spezifische Energie: 103 mt/kg = 1010 kJ/kg
Energieniveau: 92,5 mt/l
Dichte: 0,9 g/cm^3
Bleiblockausbauchung: 320 cm^3/10 g
relative weight strength: 75 %
Schlagempfindlichkeit: 4 kp m = 39 Nm

ist der Handelsname für den in der BRD vertriebenen → ANC-(= ANFO-)Sprengstoff. Er setzt sich aus Ammonsalpeter in Form poröser Prills und etwa 6 % Kohlenwasserstoffen als → Brennstoff zusammen, ist rieselfähig und rot angefärbt. Er wird unpatroniert in 25 kg fassender Kartonverpackung oder in etwa 900 kg fassenden Behältern geliefert.

Andex 1 K kennzeichnet eine Zusammensetzung, in der 30 % des Ammonsalpeters in Kristallen statt Prills eingesetzt wird. Die Haftung in ansteigenden Bohrlöchern wird dadurch verbessert.

Andex 2 ist eine durch Inertstoffzusatz abgeschwächte Zusammensetzung.

ANFO

ist die Kurzbezeichnung für Ammonium Nitrate Fuel Oil, also für Ammonsalpeter-Kohlenwasserstoff-Gemische. → ANC-Sprengstoffe.

Anlaufstrecke

Bezeichnung für die Strecke, die bis zur Erreichung der vollen Detonationsgeschwindigkeit des Explosivstoffes notwendig ist. Sie ist bei Initialsprengstoffen besonders klein.

Die Anlaufstrecke wird, insbesondere bei unempfindlicheren Sprengstoffen, stark durch die Beschaffenheit (Dichte) und den Ladungsquerschnitt beeinflußt.

Anzünden

to inflame; inflammer; allumer

Die Art der Zündung beeinflußt die Art der Umsetzung eines Explosivstoffes (→ Deflagration). Eine Flammenzündung wirkt anders als die brisante Zündung mit Sprengkapsel oder Verstärkungsladung. Die nicht-brisante Zündung wird daher mit „Anzünden“ bezeichnet.

Die Anzünd-Empfindlichkeit der Explosivstoffe ist sehr verschieden. Für Schwarzpulver genügt oft der Schlagfunken eines Werkzeuges aus funkenreißendem Material, für rauchlose Pulver der kurze Feuerstrahl eines angeschlagenen Anzündhütchens. Dagegen erlischt der Abbrand eines Ammoniumchlorid-haltigen → Wettersprengstoffes wieder, wenn die Anzündquelle entfernt wird.

Anzündstoffe sind nicht-sprengkräftige flammenbildende Explosivstoffe.

→ Initialsprengstoffe reagieren auf Anzündquellen mit voller Detonation.

Anzündhütchen

percussion cap; amorce

dienen zur Anzündung von Treibladungen. Bei den mechanischen Anzündhütchen wird ein reib- bzw. schlagempfindlicher Anzündsatz (Knallquecksilber mit Chloraten oder Bleitrinitroresorcinat enthaltende → Sinoxidsätze) durch mechanische Betätigung eines Schlagbolzens zur Entzündung gebracht.

Anzündlitze

igniter cord; corde d’allumage

ist eine Schwarzpulveranzündschnur, welche schnell (6–30 s/m) mit offener Flamme abbrennt. In einer in der BRD vertriebenen Ausführungsform enthält die Litze in der Seele einen Kupferdraht zur Beschleunigung der Wärmeleitung und gleichzeitig zur Verbesserung der Festigkeit und Hantierbarkeit. Die Anzündlitze kann durch eine offene Flamme oder mittels einer Verbinderhülse mit einer normalen Zündschnur (Leitschnur) entzündet werden. Sie dient dazu, Schwarzpulver-Zündschnüre anzuzünden, die in bestimmter Zeitfolge gezündet werden sollen.

Anzündlitzenverbinder

dienen zur sicheren Übertragung des sprühenden Abbrandes der Anzündlitze in die Pulverseele einer anzuschließenden Schwarzpulveranzündschnur. Eine dünne Metallhülse enthält ein Schwarzpulver-Preßkörperchen, welches unmittelbaren Kontakt zu zwei Anzündlitzenenden hat, die im Röhrchen festgewürgt sind. Die Hülse hat ein offenes Ende, das zur Aufnahme der anzuschließenden Schwarzpulveranzündschnur bestimmt ist; wird dort die Schnur angewürgt, so zündet der Feuerstrahl des Schwarzpulver-Preßkörperchens mit Sicherheit die Schnur.

Aquarium-Test

Prinzip der Methode ist die Messung des Explosionsdruckes von Unterwasser-Explosionen. Man verwendet Blei- oder Kupfermembranen, deren Deformation in Abhängigkeit von Sprengstoffsorte und Abstand zum Sprengherd ein Maß für die Beurteilung ist. Die Meßanordnung, bestehend aus Stempel und Amboß, hat Ähnlichkeit mit der Stauchapparatur nach Kast. Eine modifizierte Abart bedient sich statt eines zylindrischen Stauchkörpers eines Stauchkörpers in Kugelform. Ebenso kann man die Verformung von Diaphragmen oder Kupferscheiben messen, die in einen lufthaltigen Hohlkörper, eine Dose, eingespannt sind.

Neben diesen mechanischen gibt es elektromechanische Meßmethoden, bei denen der Stoßdruck mit Hilfe eines Piezo-Quarzes oszillographisch oder digital aufgezeichnet wird.

Die Messungen können in natürlichen Gewässern vorgenommen werden. Ein künstlich angelegtes Bassin aus Stahlbeton und Spundwandstahl besitzt einen Pufferboden aus Styropor. An den Spundwänden wird zur Dämpfung Luft eingeblasen, so daß ein „Luftvorhang“ gebildet wird.

→ auch: Unterwasserdetonationen.

Arbeitsvermögen

strength; force

Die Leistungsfähigkeit eines Sprengstoffes läßt sich nicht mit einer einzigen Kennzahl beschreiben. Sie wird bestimmt durch die Gasmenge, die pro Gewichtseinheit entwickelt wird, von der Energie, die dabei freigesetzt wird (der „Explosionswärme“) und der Geschwindigkeit, mit der sich die Explosion vollzieht („Detonationsgeschwindigkeit“). Wird der Sprengstoff z. B. im Bohrloch angewendet, so wird sein „Arbeitsvermögen“ beansprucht; hierbei ist weniger eine hohe Detonationsgeschwindigkeit maßgebend (obgleich Minimalwerte nicht

unterschritten werden sollten, die bei etwa 2500 m/s liegen), als eine möglichst hohe Gasausbeute und eine hohe Explosionswärme. Soll der Sprengstoff dagegen eine starke Zertrümmerungsleistung im unmittelbaren Umgebungsbereich aufweisen, stehen die Daten für die Detonationsgeschwindigkeit und die Dichte im Vordergrund (→ auch: Brisanz).

Für die vergleichsweise Leistungsermittlung der Explosivstoffe gibt es eine Reihe konventioneller Teste, und es gibt Berechnungsverfahren. Nur die Ermittlung der Detonationsgeschwindigkeit und der Dichte als definierter physikalischer Größen bedürfen keiner speziellen Konventionen.

Zur vergleichsweisen Ermittlung des Arbeitsvermögens dienen als praktische Teste die Bleiblockausbauchung und der Ausschlag des ballistischen Mörsers. In beiden Fällen werden relativ geringe Mengen Explosivstoff (Größenordnung 10 g) durch eine Sprengkapsel gezündet; im Bleiblock wird das Volumen der birnenförmigen Ausbauchung einer Bohrung im Bleiblock bestimmt, in die das Prüfmuster eingeführt wurde; im anderen Fall wird durch Messen des Ausschlagwinkels die Rückstoßkraft eines schweren Stahlgewichtes, das als Pendel aufgehängt ist, bestimmt, nachdem durch die Explosion der Patrone ein „Geschoß“ aus Stahl aus einer Bohrung der Pendelmasse herausgeschossen wurde; man gibt in Prozent die Leistung des zu prüfenden Sprengstoffs zu der von Sprenggelatine als 100 % gesetzt an. In beiden Fällen befindet sich der Sprengstoff in einem sehr starken Einschluß; die Prüfungen entsprechen also weitgehend der Zerlegungsarbeit eines Sprengstoffs in einem Bohrloch. Beide Methoden haben den Nachteil, daß die angewendete Sprengstoffmenge mit genau oder annähernd 10 g recht klein ist und daher exakte Vergleichszahlen nur mit den empfindlicheren Sprengstoffen zu erhalten sind; unempfindlichere Sprengstoffe benötigen eine längere → „Anlaufstrecke“, innerhalb derer ein beträchtlicher Teil der angewendeten 10 g nicht voll umgesetzt wird. Praktische Leistungsbestimmungsmethoden, bei denen erheblich mehr Sprengstoff (etwa bis 500 g) eingesetzt werden kann, sind folgende:

der „Springmörser“*); zwei durch geschliffene Flächen genau aufeinandergepaßte Hälften bilden einen Mörser mit Bohrloch. Die eine Halbform liegt in einer Bettung in einem Winkel von 45° so, daß die zweite Halbform durch die Explosion der Sprengladung in der Bohrung wie ein Geschoß abgeschleudert wird; die Wurfweite wird bestimmt. Die Methode leidet darunter, daß bei brisanteren Sprengstoffen die Passung nach jedem Schuß nachgeschliffen werden muß; für die schwächeren Wettersprengstoffe hat sich die Methode sehr bewährt;

der „Tonnenmörser“*); er arbeitet nach dem gleichen Prinzip der Wurfweitenbestimmung eines schweren abgeschleuderten Gewichtes. Der Sprengstoff be-

---

*) Auskünfte über diese Methode und über Erfahrungen damit: DMT-Bergbau-Versuchsstrecke, Beylingstraße 65, 44329 Dortmund-Derne.

Lit.: Ahrens, H.: Untersuchung detonativer und nochdetonativer Umsetzungen, insbesondere mit Hilfe des Spring- und Tonnenmörsers, Nobel Hefte 42 (1976), S. 69–88.

Zimmermann, R.: Die Abhängigkeit des Arbeitsvermögens der ANFO-Sprengstoffe von der Zündweise, HdT-Seminar „Fels- und Gewinnungssprengtechniktage“, Essen 1983.

findet sich freihängend in einem starkwandigen Kessel von ca. 130 l Volumen; ein eingepaßtes Verschlußstück des starkwandigen Kessels wird abgeschleudert. Diese Methode ist robuster und gestattet auch das Sprengen von etwa 500 g Gesteinssprengstoff.

Der „Großbleiblock"; die linearen Maße des Normalblocks wurden verdreifacht; er diente nur zur Gewinnung einiger Erkenntnisse über Slurries; für die Praxis ist die Methode zu aufwendig, da pro Schuß über eine Tonne Blei gegossen werden muß. Geeignet sind ferner für Leistungsermittlungen mit größeren Einwaagen Aluminiumblöcke anstelle der Bleiblöcke. Sie neigen weniger zur Rißbildung, müssen allerdings fachmännisch gegossen bezogen werden*). Aluminiumblöcke können auch als Einschlußkörper im o. g. Tonnenmörser verwendet werden.

„Krater-Methode": Volumenvergleich des Ausbruchtrichters von Sprengungen im Erdreich; sie ist nur notfalls für Sprengstoffe mit großem → kritischen Durchmesser anzuwenden, da die Meßungenauigkeit und Streuung groß sind.

Die rechnerische Ermittlung von Leistungs-Kenngrößen der Explosivstoffe ist unter dem Stichwort „Thermodynamische Berechnung von Explosivstoffen" behandelt. Für das Arbeitsvermögen der Explosivstoffe (auch: der Treibstoffe) interessiert unter den thermodynamisch errechenbaren Größen in erster Linie die „spezifische Energie"; sie gibt die Energie an, die frei wird, wenn die im Volumen des Explosivstoffs bei Explosionstemperatur komprimiert gedachten Explosionsgase unter Arbeitsleistung entspannt werden. Zur Veranschaulichung der aus den Explosivstoffen erzielbaren Arbeitsleistung wird diese Größe konventionell in Metertonnen, mt, angegeben; wegen der erforderlichen Vereinheitlichung der Dimensionen in tabellarischen Angaben wird in diesem Buch zusätzlich die Größe in Joule (J) aufgeführt.

Die rechnerisch ermittelten Werte der spezifischen Energie gehen mit den mittels experimenteller konventioneller Teste gefundenen Leistungszahlen ausgezeichnet parallel, insbesondere auch bei den oben aufgeführten Anordnungen, welche höhere Einwaagen der Prüflinge erlauben, jedoch nicht überall vorhanden und auch relativ aufwendig sind. Abb. 2 zeigt die Relation zwischen der rechnerisch ermittelten spezifischen Energie und den experimentell erhaltenen Bleiblock- – und relative weight-strength-Werten. Die Bezugskurve zu den Bleiblocktestwerten ist nicht linear, da bei größeren Ausbauchungen die verbleibende Bleiwand verhältnismäßig dünner und damit das Fließen der Bleimasse erleichtert wird; die Werte nehmen überproportional zu.

Bei der französischen „c. u. p."-Methode*) wird diejenige Sprengstoffeinwaage ermittelt, welche die gleiche Ausbauchung erzielt wie ein Vergleichssprengstoff (15 g Pikrinsäure); das reziproke Gewichtsverhältnis zum Vergleichsmuster wird in % als „c. u. p." angegeben; die Relation zwischen weight strength und c. u. p.-Wert kann durch die empirischen Formeln

$$\text{weight strength (\%)} = 0.645 \times \text{(\%) c. u. p.}$$

und

$$\text{(\%) c. u. p.} = 1.55 \times \text{(\%) weight strength}$$
$$= 1.157 \times \text{spezifische Energie (in mt/kg)}$$

angegeben werden.

---

*) c. u. p. ist die Abkürzung für „coefficient d'utilisation partique".

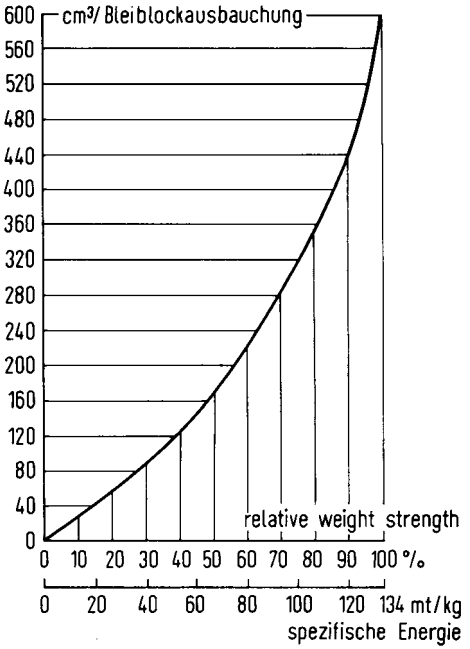


Abb. 2. Spezifische Energie und relative weight strength im Verhältnis zum Bleiblockausbauchungs-Wert

Von den vielen Verbindungen mit explosiven Eigenschaften sind heute von industrieller bzw. militärischer Bedeutung:

Nitrokörper

Trinitrotoluol in verschiedenen Reinheitsgraden, definiert durch den Erstarrungspunkt,
reine 2,4- und 2,6-Isomere des Dinitrotoluols (als Treibmittelkomponente), und niedrig schmelzende Isomeren-Gemische (für gewerbliche Sprengstoffe),
Pikrinsäure nur noch für chemische, nicht mehr sprengtechnische Zwecke,

aromatische Nitramine

Tetryl (Trinitrophenylmethylnitramin) für Verstärkerladungen und Sekundär-Sprengkapselfüllungen,
Hexanitrodiphenylamin: wird kaum noch hergestellt,

aliphatische Nitramine

Hexogen,
Oktogen als Hochbrisanz-Komponenten, zur Füllung von Sprengschnüren und von Sprengkapseln,

Nitroguanidin als überragende Komponente zum Aufbau kalorienarmer („kalter“) Pulver und Raketen-Treibsätze.

Salpetersäureester:

Nitroglycerin, nach wie vor von überragender Bedeutung zur Anwendung in gewerblichen Sprengstoffen, in rauchlosen Pulvern und in Raketen-Treibsätzen,

Nitroglykol, in gewerblichen Sprengstoffen und rauchlosen Pulvern,

Nitropenta, als Hochbrisanzkomponente, phlegmatisiert und gepreßt für Verstärkerladungen, ferner als Sekundärladung von Sprengkapseln und als Ladung für Sprengschnüre,

Diglykoldinitrat, für rauchlose (kalte) Pulver,

Nitrocellulose, wichtigste polymere Komponente zum Aufbau ein- und mehrbasiger Pulver, von mehrbasigen Raketen-Treibmitteln, zur Gelatinierung von Sprengölen bei der Herstellung gewerblicher Sprengstoffe, und (als Nicht-Sprengstoff-Anwendung) zur Herstellung von Lacken,

Nitrostärke, in geringeren Mengen, zur Modifizierung von Nitrocellulose-Rezepturen,

Polyvinylnitrat, in Raketensätzen.

Initialsprengstoffe:

Knallquecksilber und andere Fulminate sind stark in ihrer Anwendung zurückgegangen,

Bleiazid und Bleiazid-Bleitrinitroresorcinat-Gemische als Primärsätze von Sprengkapseln, auch für schlagwettersichere Kapseln aus Kupfer für den Kohlebergbau und für militärische Zünder jeder Art.

Bleitrinitroresorcinat-Gemisch, auch mit Tetrazen für Anzündhütchen. Diazodinitrophenol, als schwermetallfreie Anzündsatzkomponente.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Anforderungen, die an die Explosivstoffe in ihren verschiedenen Anwendungsbereichen gestellt werden müssen.

Tabelle 1. Forderungen für die Eigenschaften gewerblicher und militärischer Sprengstoffe

	gewerbliche Sprengstoffe	militärische Sprengstoffe
Leistungsdaten	hohes Gasvolumen und hohe Explosions-Wärme = hohe Arbeitsleistung eine hohe Detonationsgeschwindigkeit ist nicht unbedingt erforderlich, mit Ausnahme von Spezialsprengstoffen für seismische Sprengungen	je nach dem Zweck der Waffe: für Minen, Bomben, Raketengefechtsköpfe: hohes Gasvolumen; hohe Gasschlagwirkung; hohe Explosionswärme; besonders hohe Detonationsgeschwindigkeit ist nicht unbedingt erforderlich; Granaten: hohe Splittergeschwindigkeit und brisante Splitterzerlegung; hohe Ladedichte; hohe Detonationsgeschwindigkeit; mittlere Arbeitsleistung ist ausreichend (wie sie z. B. TNT hergibt) Hohlladungen: extrem hohe Werte für Dichte und Detonationsgeschwindigkeit (Oktogen ist die wirksamste Komponente);
Empfindlichkeit	Handhabungssicherheit; mit Sprengkapsel detonierbar (mit Ausnahme von Slurries und → ANFO sowie Exportsprengstoffen mit → „Blasting Agent"-Charakter); sichere Durchdetonation in langen Ladesäulen	So unempfindlich wie möglich; Sicherheit bei Abschuß und bei Auftreffen des Projektils; → Beschußsicherheit;
Stabilität; Verhalten bei Lagerung	Lager-Lebensdauer über 6 Monate; neutral (z. B. keine Salpetersäure als Komponente)	Lager-Lebensdauer 10 Jahre und länger; neutral; keine Salzbildung mit Metallen, wie z. B. Pikrate
Konsistenz	bildsam (gelatinös, pastös oder pulverförmig), um eine Sprengkapsel einführen zu können	gießbar oder preßbar
Thermisches Verhalten	nicht gefrierbar oberhalb —25 °C, muß bei etwa 60 °C einige Stunden funktionsfähig bleiben	muß zwischen −50 °C und +60 °C voll funktionsfähig bleiben; in Spezialfällen auch über diese Grenzen hinaus

Argon-Blitz

Die Intensität der Lichterscheinung einer Detonation ist in erster Linie auf die Kompression der umgebenden Luft zurückzuführen.

Bei Ersatz der Luft durch Edelgase, wie Argon, nimmt die Intensität erheblich zu. Die Leuchtzeit beschränkt sich auf den Detonationsvorgang, liegt also im Mikrosekundenbereich.

Auf Grundlage der Detonation eines Sprengstoffs in Argonumgebung sind ultrakurze Blitzlampen entwickelt worden, die sich zur Ausleuchtung von Detonationsvorgängen besonders eignen, zumal sich der Zeitpunkt der Detonation der Lampe zum detonativen Ablauf des Untersuchungsobjekts gut im Kurzzeitbereich einstellen läßt.

Intensität und Kurzzeitigkeit können extrem gesteigert werden, wenn man den vom Sprengkörper ausgehenden, durch Argon fortschreitenden Detonationsstoß zur Umkehr zwingt, wozu schon eine sehr geringe Masse, z. B. eine 0,2 mm Acetatfolie als Hindernis genügt. Auch mit einem gewölbten Glas (Uhrglas) kann dieser Effekt erzielt werden.

Armor Plate Test

ist ein in den USA entwickelter Test zur Untersuchung des Verhaltens eines Sprengstoffes als Geschoßladung beim Auftreffen gegen harte Ziele. Der Sprengstoff wird in ein Testgeschoß geladen und mit einer „Kanone“ gegen eine Stahlplatte geschossen. Es wird ermittelt, bei welcher Auftreffgeschwindigkeit Explosion erfolgt.

Armstrong-Verfahren

ein in den USA entwickeltes Sprengverfahren zur Gewinnung von Kohle, bei dem hochgespannte Druckluft im Bohrloch (ca. 700 bis 800 bar) mittels eines sogenannten Schießrohres mit Berstscheiben plötzlich freigegeben wird. Die Druckluft wird durch Spezialkompressoren unter Tage erzeugt (→ auch: Gaserzeugende Ladungen).

Ein ähnliches Verfahren ist als „Airdox“-Verfahren bekannt geworden. Die Berstelemente in den Schießrohren sind hierbei anders konstruiert; zum Teil wird die benötigte Druckluft über Tage erzeugt und über ein Leitungsnetz verteilt.

ASTM

Abkürzung für American Society for Testing Materials. Materialprüfungsstelle in Washington.

Astrolite

ist der Handelsname eines von der EXPLOSIVES CORPORATION OF AMERICA, einer Tochterfirma der ROCKET RESEARCH CORPORATION, entwickelten, überwiegend für den militärischen Einsatz gedachten flüssigen Sprengstoffs, der erst kurz vor dem Einsatz aus seinen Komponenten gemischt werden soll. Als Brennstoffkomponente sollen UDMH (→ Dimethylhydrazin), als Oxydator HNO_3 dienen.

Audibert-Rohr

Die von *Audibert und Delmas* vorgeschlagene Prüfeinrichtung dient zur Ermittlung der Deflagrations-Neigung eines Wettersprengstoffs (→ Deflagration und → Wettersprengstoffe). Eine Patrone des zu prüfenden Stoffes wird stirnseitig geöffnet in das Rohr geladen und allseitig mit Kohlenstaub umstopft. In die Patronenöffnung taucht eine Glühwendel; bei schwer zündbaren Stoffen wie den Salzpaarsprengstoffen wird die Wendel mit einem leicht zündbaren Zündgemisch umgeben. Das Rohr wird mit einer durchlochten Platte verschlossen; es wird ermittelt, bei welchem Minimal-Durchmesser des Loches sich die eingeleitete Deflagration bis zum Patronenboden fortsetzt.

Bei der von der → Bergbau-Versuchsstrecke ausgearbeiteten Prüfmethode verwendet man zwei Patronen axial hintereinander.

Literatur: *Zimmermann, R.:* Erfahrungen mit Methoden zur Einordnung der Deflagrationsfestigkeit von Wettersprengstoffen, Propellants Explos. 3, 71 (1978)

Auflegerladung

mud cap; charge superficielle

Als Auflegerladung bezeichnet man Sprengladungen, welche ohne den starken Einschluß eines Bohrloches Zerstörungen hervorrufen sollen, z. B. von Freisteinen („Knäppern"), Beton- und Stahlkonstruktionen.

Hierzu ist brisanter Sprengstoff erforderlich. Auflegerladungen werden meistens mit Lehm etwas verdämmt, gleichwohl benötigt man etwa die fünffache Menge an Sprengstoff gegenüber einer im Bohrloch arbeitenden Ladung. Oft empfiehlt es sich, Ladungen bestimmter Formgebung zu verwenden (→ Hohlladungen und → Schneidladungen).

Ausschwitzen

exudation

nennt man das Austreten öliger Stoffe aus Sprengstoffladungen während längerer Lagerung, insbesondere bei erhöhter Temperatur. Sie sind niedrig schmelzende Eutectica aus Isomeren und Vorprodukten (Verunreinigungen) des betreffenden Sprengstoffs und ggf. von zugesetzten Komponenten. Die Gefahr des Ausschwitzens ist besonders bei Granatfüllungen von TNT (→ Trinitrotoluol) und TNT-Mischungen aufgetreten; sie hat zu besonders hohen Anforderungen an die chemische Reinheit des Produkts (→ Trinitrotoluol, technische Reinheitsforderungen) geführt.

Treibstoffladungen können Ausschwitzungen zeigen, wenn die Prozentsätze von Nitroglycerin, von aromatischen Verbindungen, von Gelatinatoren und von Vaseline relativ hoch sind. Die Pulverkörner agglomerieren, ihre Anzündbarkeit leidet. Der gleiche Nachteil entsteht, wenn kristalline Ausblühungen von Stabilisatoren auftreten. Die ballistischen Leistungsdaten können ebenfalls beeinflußt werden.

Überdehnte Einlagerungsdauer kann bei den gelatinösen Nitroglycerin-Sprengstoffen, insbesondere in feucht-warmen Klimaten, Ausschwitzungen entstehen lassen. Es kann sich zwar auch um das Freiwerden von öligem Nitroglycerin aus der gelatinösen Bindung handeln, meistens sind es jedoch wäßrige Ausscheidungen von hochprozentigen Ammoniumnitratlösungen; Initiierbarkeit und Leistungsfähigkeit von feucht gewordenen Sprengstoffen nehmen natürlich ab. Das Ausscheiden von Nitroglycerin ist sehr gefährlich; es kann auftreten, wenn die Qualität der verwendeten Dynamit-Kollodiumwolle nicht gut war.

Ausströmgeschwindigkeit

bezeichnet in der Raketentechnik die Geschwindigkeit, mit der die Feuergase aus der Brennkammer durch die Düse in das Freie gelangen. Aus Ausströmgeschwindigkeit und Durchsatz errechnet sich der → Schub. Die Ausströmgeschwindigkeit wird um so höher sein, je höher sich der Brennkammerdruck aufbaut, d. h. je höher das durch die → Düse beeinflußte Entspannungsverhältnis ist. Der Brennkammerdruck kann nicht beliebig hoch gewählt werden, da sonst die Brennkammerwandstärke und damit das Gewicht zu hoch wird (→ Massenverhältnis).

Nach der Formel von *Saint-Venant* und *Wantzel:*

$$a = \sqrt{2 \frac{k-1}{k} \frac{RT}{M} \left[1-\left(\frac{P_0}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]}$$

P_0 = Gasdruck am Düsenaustritt
P_1 = Brennkammerdruck
k = Verhältnis der spezifischen Wärmen der Verbrennungsgase
R = Gaskonstante im absoluten Maßsystem
T = Flammentemperatur in K
M = Mittleres Molekulargewicht der Verbrennungsgase

ist die Ausströmgeschwindigkeit proportional der Quadratwurzel aus der Verbrennungstemperatur und umgekehrt proportional der Quadratwurzel aus dem Durchschnitts-Molekulargewicht der Verbrennungsgase.

Sonstige Einzelheiten sind der oben angegebenen Formel zu entnehmen und fernerhin nachzulesen in: *E. Schmidt:* Technische Thermodynamik und *Büchner:* Zur Thermodynamik von Verbrennungsvorgängen.

Über den Einfluß der Dissoziation → Freie Radikale.

Azide

Azide sind Salze der Stickstoffwasserstoffsäure (N_3H). Die Alkaliazide sind das wichtigste Vorprodukt zur Herstellung von → Bleiazid.

Natriumazid entsteht durch Umsetzung von Natriumamid ($NaNH_2$) mit Stickoxydul (N_2O). Natriumamid erhält man durch Einleiten von Ammoniakgas in geschmolzenes Natrium.

Ballistische Bombe

ballistic bomb; closed vessel; bombe pour essais balistique

Die ballistische Bombe (Druckbombe, manometrische Bombe) dient zur Untersuchung des Abbrandverhaltens eines → Schießpulvers, → Treibladungspulvers. Sie besteht aus einem druckfest (dynamische Belastung bis etwa 1000 MPa {10 000 bar}) verschraubbaren Stahlhohlkörper mit einer Bohrung zur Aufnahme eines piezoelektrischen Druckaufnehmers. Gemessen wird der Druck p in der Bombe als Funktion der Zeit t.

Pulveruntersuchungen in der Druckbombe werden in der Regel im Vergleich zu einem Pulver bekannter ballistischer Leistung durchgeführt. Sie werden mit großem Nutzen sowohl bei der Entwicklung von Pulvern als auch bei der Fertigungsüberwachung eingesetzt.

Bestimmt man aus dem primären Meßsignal die dynamische Lebhaftigkeit L ($= 1/p_{max} \cdot dlnp/dt$) als Funktion von p/p_{max}, so lassen sich bei definierter Geometrie des Pulvers die seinen Abbrand charakterisierenden Größen lineare Brenngeschwindigkeit $\dot{e}$ (→ Abbrandgeschwindigkeit) und Druckexponent α ermitteln. Druckbombenbe-

schüsse des gleichen Pulvers bei unterschiedlichen Ladedichten δ (= Masse m_c des Pulvers/Volumen V_B des Druckgefäßes) erlauben zusätzlich die Bestimmung des spezifischen Kovolumens η der Verbrennungsgase des Pulvers und der Force f (Pulverkraft) des Pulvers. Hieraus läßt sich bei bekannter → Explosionswärme Q_{Ex} des Pulvers der für die ballistische Leistung interessante Wert des mittleren Adiabatenkoeffizienten $\varkappa$ (= 1 + f/Q_{Ex}) der Verbrennungsgase ableiten.

Da die Verbrennungsgase von Pulvern in guter Näherung einer Abelschen Zustandsgleichung genügen, läßt sich unter Benutzung der Hilfsgrößen (ϱ_c Dichte des Pulvers)

$\Delta := m_c/(V_B \cdot \varrho_c)$ ‚normierte Ladedichte' (1)

$\chi := (1-\eta\varrho_c) \cdot \Delta/(1-\Delta)$ ‚Realgas-Korrekturterm' (2)

$\Phi := f\varrho_c\Delta/(1-\Delta)$ ‚charakteristischer Druck' (3)

der Zusammenhang zwischen dem Druck p in der manometrischen Bombe und dem verbrannten Volumenanteil z des Pulvers schreiben als

$$z(p/p_{max}) = p/p_{max}/\{1+\chi(1-p/p_{max})\} \quad (4)$$

bzw.

$$p(z) = \Phi \cdot z / (1+\chi z). \quad (5)$$

Der Maximalgasdruck, der bei Abbrandende (z = 1) erreicht wird, ergibt sich entsprechend zu

$$p_{max} = \Phi / (1+\chi). \quad (6)$$

Die dynamische Lebhaftigkeit L ergibt sich gemäß

$$L = \frac{S(0)}{V(0)} \cdot \varrho(z) \cdot \frac{\dot{e}(p_{ref})}{p_{ref}} \cdot \left[\frac{p}{p_{ref}}\right]^{\alpha-1} \cdot \frac{1+\chi}{(1+\chi z)^2} \quad (7)$$

S(0)/V(0) bezeichnet das Verhältnis von anfänglicher Oberfläche zu anfänglichem Volumen des Pulvers,

$\varrho(z)$ bezeichnet die → Formfunktion des Pulvers, die den geometrischen Verhältnissen (Kugel-, Blättchen-, Zylinder-, N-Lochpulver) beim Abbrand Rechnung trägt ($\varrho(z)$ = aktuelle Oberfläche/Anfangsoberfläche)

$\dot{e}(p_{ref})$ bedeutet die lineare Brenngeschwindigkeit bei dem Referenzgasdruck p_{ref}

p_{ref} ist der Referenzgasdruck und

α der Druckexponent, der für viele Pulver in der Nähe von 1 liegt.

Zur Auswertung von Gl. (7) ist z mittels Gl. (4) durch p/p_{max} zu ersetzen.

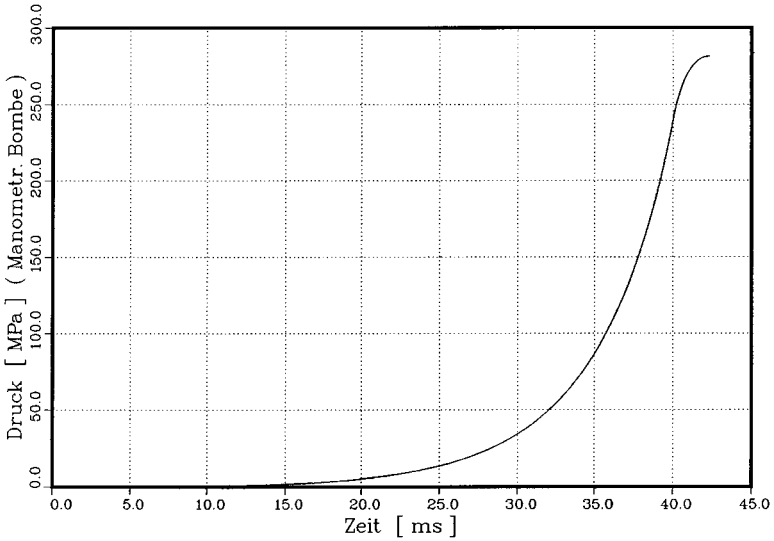


Abb. 3. Druck-Zeit-Diagramm p = f(t)

Die Abbildung 3 zeigt den zeitlichen Verlauf des Drucks in der manometrischen Bombe für ein typisches 7 Lochpulver. Der Druckverlauf wird zunächst zunehmend steiler, da der Abbrand um so schneller erfolgt, je höher der Druck ist und zusätzlich die brennende Oberfläche des Pulvers mit fortschreitendem Abbrand größer wird (progressiver Abbrand). Gegen Ende des Abbrandes flacht der Druckverlauf rasch ab, da die brennende Oberfläche des Pulvers drastisch kleiner wird, sobald ca. 88 % des Pulvers verbrannt sind.

Auch in Abb. 4, die den berechneten Verlauf der dynamischen Lebhaftigkeit in Abhängigkeit von p/p_{max} zeigt, spiegelt sich für $p/p_{max} > 0.2$ im wesentlichen der Verlauf der Formfunktion (siehe Abb. 5) wieder. Bei kleinen Werten p/p_{max} dominiert dagegen die sich für $\alpha = 0.9$ ergebende $p^{\alpha-1}$-Abhängigkeit. Das Abknicken der Verläufe von Formfunktion und dynamischer Lebhaftigkeit bei $p/p_{max} \approx 0.87$ (Zerfall der Pulverkörner in Sliver) ist bei gemessenen Kurven stark verrundet, da nicht alle Körner exakt gleichzeitig anbrennen und stets kleine Geometrieunterschiede auftreten (Fertigungstoleranzen).

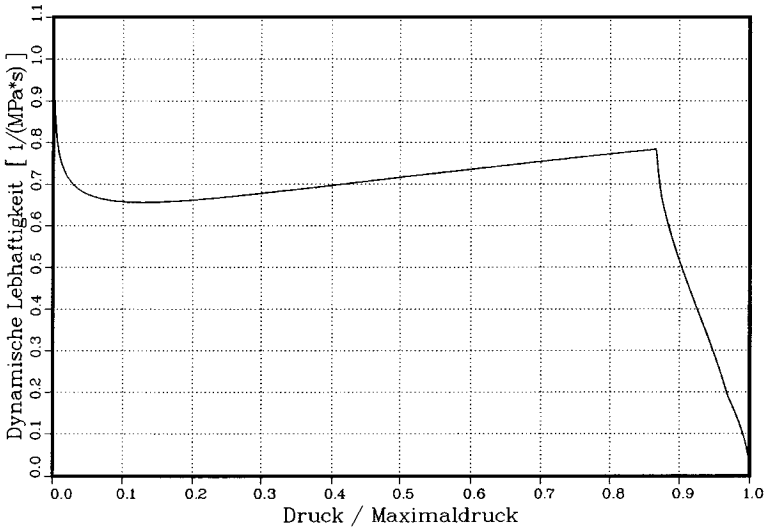


Abb. 4. Dynamische Lebhaftigkeit als Funktion von $p/p_{max.}$

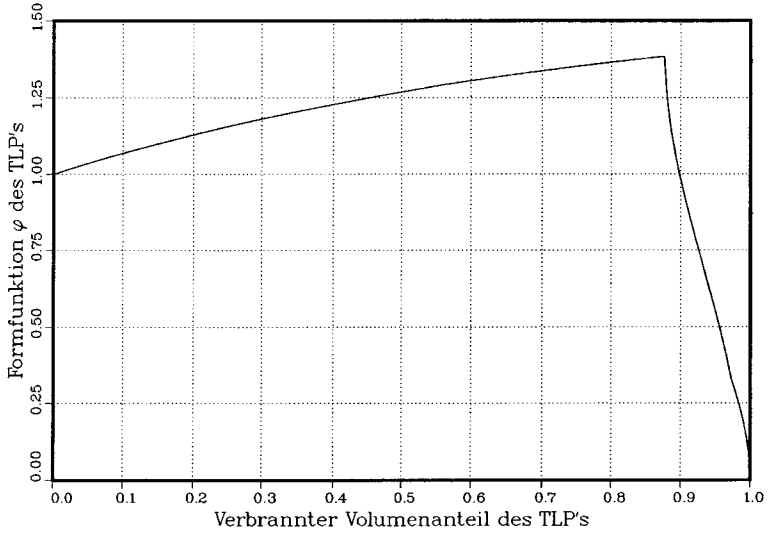


Abb. 5. Formfunktion des Pulvers in Abhängigkeit von der aktuellen Oberfläche zur Anfangsoberfläche

Ballistischer Mörser

ballistic mortar; mortier balistique

Der ballistische Mörser dient zur vergleichenden Bestimmung der Leistungsfähigkeit von Sprengstoffen. Der Mörser mit einer Bohrung mit eingepaßtem Geschoß aus Stahl-Vollmaterial ist in einem Pendelgestänge von 3 m Länge aufgehängt. Zur Messung werden 10 g Sprengstoff im Verbrennungsraum zur Detonation gebracht. Die Schwaden treiben das Geschoß aus dem Mörser, der einen der Geschoßenergie entsprechenden Rückstoß erhält; dieser Pendelausschlag wird gemessen. Dieser Ausschlag (weight strength) wird in Prozenten des Ausschlags von Sprenggelatine, der willkürlich gleich 100 gesetzt wird, ausgedrückt. Andere Angaben (z. B. im Handbuch von Fedoroff-Kaye) geben in Prozent den Ausschlag im Vergleich zu TNT an.

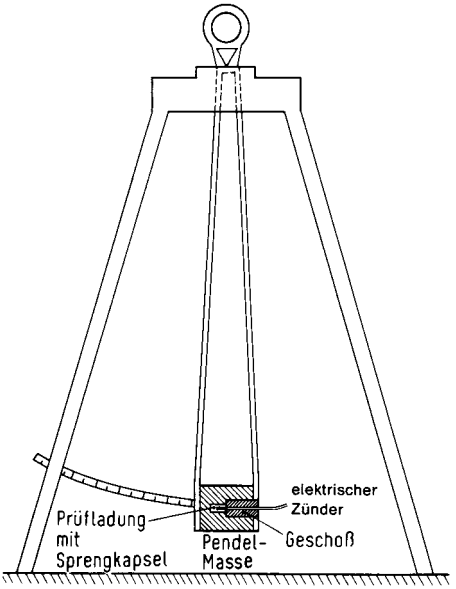


Abb. 6. Ballistischer Mörser

Bei einer anderen Vergleichsskala („grade strength“) wird derjenige Sprengstoff aus einer Standardreihe von Mischdynamiten – aus Nitroglycerin in verschiedenen Prozentsätzen, Natronsalpeter und Holz- bzw. Pflanzenmehlen (→ Dynamite) – bestimmt, welcher den gleichen Pendelausschlag ergibt wie der zu untersuchende Sprengstoff. Die Prozentsätze Nitroglycerin des Vergleichssprengstoffes werden dann als „grade strength“ angegeben.

→ Arbeitsvermögen.

BAM

Abkürzung für „Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung“, Berlin. Entstanden nach dem zweiten Weltkrieg durch Vereinigung des ehemaligen Staatlichen Materialprüfungsamtes, Berlin-Dahlem und der ehemaligen Chemisch-Technischen Reichsanstalt (CTR), Berlin-Plötzensee.

Die „BAM“ ist eine Bundesoberbehörde; sie ist die Zulassungsbehörde für pyrotechnische Gegenstände, Sonstige explosionsgefährliche Stoffe und Sprengzubehör im nationalen Recht und Benannte Stelle für Explosivstoffe im EU-Recht für das Inverkehrbringen und Verwenden von explosionsgefährlichen Stoffen (→ Sprengstoffgesetzgebung).

Sie hat auch die Zuständigkeit für die Zuordnung zu Lagergruppen im zivilen Bereich gemäß 2. Verordnung zum Sprengstoffgesetz (2.SprengV).

Im Gefahrgutrecht (GGVSE, GGVSee) ist sie die zuständige Behörde für die Klassifizierung von Gütern der Klasse 1 im zivilen Bereich.“

Baratole

sind gießbare Gemische aus Trinitrotoluol und 10 bis 20 % Bariumnitrat.

Bariumchlorat

barium chlorate; chlorate de barium

$Ba(ClO_3)_2 \cdot H_2O$

farblose Kristalle
Mol.-Gew.: 322,3
Sauerstoffwert: +29,8 %
Dichte: 3,24 g/cm^3
F.: 414 °C

Bariumchlorat findet in der Feuerwerkerei Verwendung, es bewirkt grüne Flammfärbung.

Bariumnitrat

barium nitrate; nitrate de barium; Barythsalpeter; BN

$Ba(NO_3)_2$

farblose Kristalle
Mol.-Gew.: 261,4

Technische Reinheitsforderungen an Bariumnitrat

	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5	Klasse 6
Reingehalt (aus Stickstoffbestimmung): mindestens	99,7 %	99,0 %	99,5 %	99,5 %	98,5 %	99,5 %
Sr: höchstens	0,6 %	—	0,6 %	—	—	0,6 %
Ca: höchstens	0,05 %	—	0,05 %	—	—	0,05 %
$Al_2O_3 + Fe_2O_3$: höchstens	—	0,50 %	—	—	—	—
Na, als Na_2O: höchstens		0,15				0,15
Chloride als $BaCl_2$: höchstens	0,0075 %	0,0075 %	0,0075 %	0,0075 %	—	0,0075 %
scharfkantige Verunreinigungen: höchstens	0,05 %	0,05 %	0,05 %	0,05 %	—	0,05 %
Fe und andere Metalle:	O	O	O	O	O	O
Feuchtigkeit: höchstens	0,20 %	0,10 %	0,20 %	0,20 %	0,05 %	0,10 %
pH:	5,0–8,0	5,0–8,0	5,0–8,0	—	5,0–8,0	5,0–9,0
Unlösliches: höchstens	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %

Sauerstoffwert: +30,60 %
Stickstoffgehalt: 10,72 %
Dichte: 3,24 g/cm^3
F.: 592 °C

Verwendung in der Feuerwerkerei, für Leuchtsätze und → „Sinoxid"-Sätze, teils zur Flammfärbung, teils als Sauerstoffträger.

Bariumperchlorat

barium perchlorate; perchlorate de barium

$Ba(ClO_4)_2 \cdot 3\ H_2O$

farblose Kristalle
Mol.-Gew.: 390,3
Sauerstoffwert: +32,8 %
Dichte: 2,74 g/cm^3
F.: 505 °C

Bariumperchlorat ist löslich in Wasser und Alkohol. Es findet Verwendung in grün abbrennenden Feuerwerkssätzen.

Bazooka

im zweiten Weltkrieg von den USA eingesetzte Waffe zur Panzerbekämpfung mittels → Hohlladungen; sie entspricht im Prinzip der in Deutschland entwickelten Panzerfaust.

Bengalische Feuer

bengal firework; compositions pyrotechniques lumineuses

Ein Begriff aus der Pyrotechnik: Pulvergemische, die gefärbte Flammen geben. Die Zusatzstoffe sind für

rot: Strontiumsalze
grün: Bariumsalze oder Borsäure
blau: Kupferoxid
gelb: Natriumsalze

Bergbau-Sprengstoffe

mine explosives; explosifs de mine

→ Gesteinssprengstoffe, Gewerbliche Sprengstoffe, Wettersprengstoffe.

Bergmann-Junk-Test

ist eine, im Jahre 1904 von *Bergmann* und *Junk* für die Prüfung der chemischen Stabilität von Nitrocellulose ausgearbeitete Methode, die in der Folgezeit auch zur Prüfung von einbasigen Pulvern herangezogen wurde. Hierbei wird das mit einem Becheraufsatz verschlossene, die Probe enthaltende Testrohr zwei Stunden (Nitrocellulose) oder 5 Stunden (einbasige Pulver) auf 132 °C erhitzt. Nach dem Erhitzen wird die Probe mit Wasser ausgeschüttelt und das Rohr, unter Verwendung des in dem Becheraufsatz befindlichen Wassers, bis zu einer 50-ml-Marke aufgefüllt. In einem aliquoten Teil der abfiltrierten Lösung wird der Gehalt an Stickoxiden nach *Schulze-Tiemann* bestimmt.

Der wesentlichste Nachteil dieser Ausführung besteht darin, daß die Nitrosen nur unvollständig durch Wasser absorbiert werden, zumal auch noch der in dem Versuchsrohr befindliche Luft-Sauerstoff während des Erhitzens vertrieben bzw. bei dem Pulver durch abgespaltene Kohlensäure verdrängt wird. Weiterhin ist bei dieser Versuchsausführung das Ergebnis von dem Volumen der Probe insofern abhängig, als zum Auffüllen des Rohres bis zur Marke unterschiedliche Mengen Wasser benötigt werden (festgelatiniertes Pulver, poröse Pulver).

W. Siebert hat deshalb im Jahre 1942 vorgeschlagen, als Absorptionsmittel anstelle Wasser H_2O_2 zu verwenden und, zwecks Vermeidung der beim Abnehmen des Becheraufsatzes entstehenden Gasverluste, den bisherigen Aufsatz durch einen großen, über 50 ml fassenden gärrohrähnlichen Aufsatz, der zum Ausschütteln der Probe nicht abgenommen zu werden braucht, zu ersetzen. Mit dieser Maßnahme ist es möglich, auch die Abspaltungen größerer Mengen NO quantitativ zu erfassen.

Darüber hinaus hat *Siebert* vorgeschlagen, die Gesamtsäuren mit n/100 NaOH, unter Anwendung des Indikators von Tashiro, titrimetrisch zu erfassen. Diese Maßnahme ermöglicht es, auch sprengölhaltige Pulver diesbezüglich zu prüfen; diese letztere Untersuchung erfolgt bei 115 °C, wobei, je nach dem Sprengölgehalt der Probe, 8 oder 16 Stunden erhitzt wird.

Bergbau-Versuchsstrecke

Abkürzung BVS, gegründet 1894, als Institut für die Prüfung von Bergbau-Betriebsmitteln auf Schlagwetter- und Kohlenstaubsicherheit, seit 1911 in Dortmund-Derne. Von 1970 bis 1998 allgemein zuständig für die Prüfung von Gesteins- und Wettersprengstoffen, Zündmitteln und Sprengzubehör. Die Prüfbescheinigung der BVS-Fachstelle für Sprengwesen – bildete bis zur Novellierung der SprengG 1998 die Grundlage des gesetzlichen Zulassungsverfahrens durch die → BAM. Die Fachstelle ging 2003 in die EXAM BBG Prüf- und Zertifizier GmbH mit Sitz in Bochum über.

Besatz

stemming; bourrage

Besatz nennt der Bergmann den inerten Stoff, den er nach dem Laden eines Bohrloches mit Sprengstoff zum Verschließen des Bohrloches verwendet. Das „klassische" Besatzmittel sind Lehm- oder Letten-Nudeln. Durch den Besatz wird die Wirkung der Sprengstoffe rationeller ausgenutzt, wenn in kurzen Ladesäulen gesprengt und wenn vom Bohrlochmund aus gezündet wird. Beim Sprengen in schlagwettergefährdeten Betrieben ist Besatz vorgeschrieben. Nicht immer ist der festeste Besatz der beste; zu fester Besatz kann das Auftreten von Deflagrationen begünstigen. Für die Kohle haben sich am besten Pastenbesatz- und Wasserbesatzpatronen bewährt, mit Wasser gefüllte, beiderseits geschlossene Kunststoffröhrchen, die leicht in das Bohrloch einzuführen sind, einen nicht zu festen Besatz abgeben und merklich zur Staub- und Schwadenniederschlagung beitragen.

Beschuß-Sicherheit

projectil impact sensitivity; sécurité à l'impact de projectiles

einer militärischen Ladung bezeichnet die Forderung, daß der betreffende Munitionsgegenstand nicht voll detonieren soll, wenn er von Infanterie-Geschossen getroffen wird. Die Beschuß-Sicherheit ist nicht ausschließlich eine Eigenart des verwendeten Explosionsstoffes, sondern hängt auch von der Art des Einschlusses ab (metallisch, dick- oder dünnwandig). Das Verhalten gegen Einzelschuß, gegen Maschinengewehrbeschuß, gegen unterschiedliche Infanterie-Munition (mit oder ohne Stahlkern) ist ebenfalls verschieden. Eine allgemeine Prüfungsnorm auf Beschuß-Sicherheit ist daher noch nicht entstanden.

Eine ähnliche Empfindlichkeitsprüfung, auch für gewerbliche Sprengstoffe, wird durch den Beschuß mit Metallzylindern aus Kupfer, Stahl und Aluminium mit genau eingestellten Geschoßgeschwindigkeiten vorgenommen*).

Ferner → LOVA-Treibladungspulver.

Bezug von Explosivstoffen, Sprengzubehör und von pyrotechnischen Gegenständen

Der Bezieher und Anwender von Explosivstoffen und pyrotechnischen Gegenständen (Großfeuerwerk) bedarf einer Erlaubnis bzw. eines Befähigungs-Scheins (→ Sprengstoffgesetzgebung). Nur wenige von den vielen im Buch aufgeführten explosionsgefährlichen Stoffen wer-

*) Beschreibung der Methode: *D. Eldh* et al. Explosivstoffe *11*, 97–103 (1963).

den heute noch industriell hergestellt. Für den Bezug von gewerblichen Sprengstoffen, Zündmitteln und Sprengzubehör (Zündmaschinen, Zündschnüre, Zündkabel usw.) kann man sich an die Verkaufsabteilungen der DYNAMIT NOBEL AG, Troisdorf oder die WASAG-CHEMIE Sythen GmbH, Haltern, für → ANC-Sprengstoffe auch an die MSW-Chemie GmbH in Langelsheim wenden. Pyrotechnische Artikel kann man z. B. von den Firmen WECO, Eitorf, Piepenbrock Pyrotechnik, Remscheid-Wuppertal oder der SAFEX-Chemie in Schenefeld b. Hamburg beziehen.

B.I.C.T.

War die Kurz-Bezeichnung des dem Bundes-Verteidigungsministerium unterstehenden „Bundesinstituts für Chemisch-Technische Untersuchungen“ in Heimerzheim bei Bonn.

Seit 01. 04. 97 hat sich der Name dieses Instituts geändert in „Wehrwissenschaftliches Institut für Werk-, Explosiv- und Betriebsstoffe (WIWEB)“.

Bildungsenergie, Bildungsenthalpie

heat of formation; chaleur de formation

Diese thermodynamischen Begriffe bedeuten die Energie, welche bei dem Aufbau eines Stoffes aus seinen Elementen bei konstantem Volumen (Bildungsenergie) bzw. bei konstantem Druck (Bildungsenthalpie, welche bei der Volumenänderung zu berücksichtigende mechanische Arbeit mit enthält) gebunden wird, bezogen auf den thermodynamisch stabilen Zustand 25 °C und 1 bar Druck*). Die Angaben von Bildungsenergien in den Tabellen dieser Auflage sind in „thermodynamischer Schreibweise“ aufgeführt; wird Energie bei Bildung aus den Elementen frei, erscheint die Angabe nunmehr *negativ*.

Die Kenntnis der Bildungsenthalpien der Komponenten einer explosions- oder abbrand-fähigen Mischung einerseits und der Bildungsenthalpien der angenommenen Zerfallsprodukte andererseits erlaubt, die → Explosionswärme (→ Thermodynamische Berechnung der Umsetzung von Explosivstoffen) zu berechnen.

Eine sehr umfassende Datenblättersammlung für Bildungs-Enthalpien und -Energien mit Quellenangaben hat das Institut für Chemische Technologie (ICT), Berghausen, 1972 herausgegeben, die seit 1995 auch in Form einer Datenbank erhältlich ist.

*) Kohlenstoff ist auf den Zustand Graphit bezogen. Die älteren Zahlen von *Médard* beziehen sich auf den Zustand als Diamant.

Angaben für Bildungsenergien und Bildungsenthalpien finden sich bei den einzelnen Stichworten dieses Buches selbst sowie in der Tabelle auf den Seiten 313 bis 319 des Stichwortes „Thermodynamische Berechnung der Umsetzung von Explosivstoffen".

Die auf die Ausgangsprodukte bezogenen Daten für die Bildungsenergie und Bildungsenthalpie sind auf das kg gerechnet angegeben; durch Multiplikation mit dem Molekulargewicht/1000 werden die molaren Werte erhalten; die molaren Bildungsenergien U_m und Enthalpien H_m sind durch die Beziehung verknüpft:

$H_m = U_m + \Delta n\, R\, T$
Δn = Molzahländerung der gasförmigen Stoffe
R = allgemeine Gaskonstante
$= 1{,}9958 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kcal}}{\text{Mol} \cdot \text{Grad}}$
$= 8{,}313 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kJ}}{\text{Mol} \cdot \text{Grad}}$
$T = 298{,}15\ \text{K}$

Zusammengefaßt errechnet sich damit ein Faktor 0,592, also

$H_m = U_m + 0{,}592 \times \Delta n \frac{\text{kcal}}{\text{Mol}}$ bzw.

$H_m = U_m + 2{,}479 \times \Delta n \frac{\text{kJ}}{\text{Mol}}$.

Ein Beispiel: die Bildungsgleichung für Trinitrotoluol ist

$$7\,C + \frac{5}{2}H_2 + \frac{3}{2}N_2 + 3\,O_2 + U_m = C_7H_5N_3O_6$$

Die Molzahländerung (Abnahme, also negativ) der gasförmigen Mole beträgt $-\left(\frac{5}{2} + \frac{3}{2} + 3\right) = -7$; auf S. 344 ist als Bildungsenergie pro kg angegeben:

$-52{,}4$ kcal/kg $= -219{,}2$ kJ/kg; die Umrechnung auf die Molwärme $-52{,}4 \cdot \frac{227{,}1}{1000}$ ergibt $-11{,}90$; zu addieren sind $-7 \times 0{,}592 = -4{,}14$; somit ist die molare Bildungsenthalpie $-16{,}04 \frac{\text{kcal}}{\text{Mol}} = -67{,}1 \frac{\text{kJ}}{\text{Mol}}$ und rückgerechnet auf das kg: $-70{,}6$ kcal/kg $= -295{,}4$ kJ/kg, wie im Stichwort Trinitrotoluol angegeben.

Literaturverzeichnis:

Melvin A. Cook: The Science of High Explosives, New York, London, 1958, ACS Monograph Series N° 139.

J. D. Cox, G. Pilcher: Thermochemistry of Organic and Organometallic Compounds, Academic Press, London, 1970.

A. Dadieu, R. Damm, E. W. Schmidt: Raketentreibstoffe. Springer-Verlag, Wien/New York, 1968.

JANAF Thermochemical Tables. Hrsg. *D. R. Stull* und *H. Prophet*, National Standard Reference Data Series, National Bureau of Standards, Midland, Michigan, USA; 2. Aufl. 1971, 4 Erg. Bde. 1974–1982.

M. L. Médard: Tables Thermochimiques. Mémorial de l'Artillerie Français 28 (1954), 415–492. Die angegebenen Werte gelten für 18 °C und Kohlenstoff als Diamant.

D. R. Stull, E. F. Westrum, G. C. Sinke: The Chemical Thermodynamics of Organic Compounds. John Wiley and Sons, Inc., 1969.

E. S. Sutton, E. J. Pacanowsky, S. F. Sarner: ICRPG/AIAA. Second Solid Propulsion Conference, Anahelm, California. June 6–8, 1967.

M. Shorr, A. J. Zaehringer: Solid Rocket Technology. John Wiley and Sons, Inc., 1967.

P. Tavernier, J. Boisson, B. Crampel: Propergols Hautement Energétiques. Agardographie Nr. 141 (1970).

F. Volk, H. Bathelt: Datenbank thermochemischer Daten. Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie, 76327 Pfinztal, drittes Update 1997 (auch mit Diskette).

Blasting agents

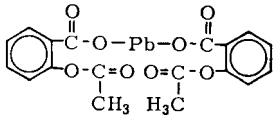
ist ein in den USA gebildeter Begriff für Sprengmittel, die einerseits so unempfindlich sind, daß sie in normalen Patronen von 30–35 mm Durchmesser auf eine Sprengkapsel Nr. 8 nicht ansprechen, die aber andererseits mit Patronen größeren Durchmessers (über 2 inch = 50 mm), wie sie bei Großbohrloch- und Kammerminensprengungen angewendet werden, mit einer Verstärkungsladung aus einem sprengkapselempfindlichen Sprengstoff gut detonieren. Solche Sprengmittel werden unter Handelsnamen wie Dynamon, Nitramon, Wasamon, Nitro-carbo-nitrat vertrieben. Sie enthalten in ihren Zusammensetzungen keine chemisch einheitlichen Sprengstoffe wie Nitroglycerin und Trinitrotoluol. In den USA gelten für diese Sprengstoffe erleichterte Transportbedingungen.

Blastmeter

sind einfache Geräte, mit denen der Maximaldruck einer Stoßwelle (→ S. 72) ermittelt werden kann. Sie bestehen aus Stahlkörpern, in denen Löcher verschiedener Durchmesser gebohrt und mit Aluminiumfolie abgedeckt werden. Es wird der kleinste Durchmesser bestimmt, bei dem noch die Folienabdeckung aufgerissen wird. Die Geräte können mit einem statischen Druckgeber geeicht werden.

Bleiacetylsalicylat

lead acetylsalicylate; acétylsalicylate de plomb



+ 1 H_2O

farblos, feinkristallin
Bruttoformel: $C_{18}H_{14}O_8Pb \cdot H_2O$
Mol.-Gew.: 583,51
Sauerstoffwert: −98,7 %
Bildungsenergie: −810,8 kcal/kg = −3394,5 kJ/kg
Bildungsenthalpie: −823,5 kcal/kg = −3447,6 kJ/kg

Bleiacetylsalicylat gehört zu abbrand-moderierenden Zusätzen, insbesondere zu double base Raketentreibsätzen.

Bleiazid

lead azide; azoture de plomb

$Pb(N_3)_2$

farblose Kristalle
Mol.-Gew.: 291,3
Bildungsenergie: +397,5 kcal/kg = +1664,4 kJ/kg
Bildungsenthalpie: +391,4 kcal/kg = +1638,8 kJ/kg
Sauerstoffwert: −5,5 %
Stickstoffgehalt: 28,85 %
Normalgasvolumen: 308 l/kg
Explosionswärme: 391 kcal/kg = 1639 kJ/kg
Spezif. Energie: 38,8 mt/kg = 380 kJ/kg
Dichte: 4,8 g/cm^3
Bleiblockausbauchung: 110 cm^3/10 g
Detonationsgeschwindigkeit:
4630 m/s bei Dichte 3,0 g/cm^3
5180 m/s bei Dichte 4,0 g/cm^3
Verpuffungspunkt: 315−360 °C
Schlagempfindlichkeit:
0,25−0,4 kp m = 2,5−4 Nm (reines Produkt),
0,3−0,65 kp m = 3−6,5 Nm (techn. Produkt)
Reibempfindlichkeit: bei 0,01−0,1 kp = 0,1−1 N
Stiftbelastung Explosion

Bleiazid ist unlöslich in Wasser, beständig gegen Wärme und Feuchtigkeit und wenig hygroskopisch. Es wird durch Umsatz wäßriger

Lösungen von Natriumazid und Bleinitrat hergestellt. Dabei ist die Bildung großer Kristalle zu vermeiden, da das Zerbrechen von Kristallnadeln zur Explosion führen kann. Vorwiegend wird daher das technische Produkt hergestellt, das 92–96 % $Pb(N_3)_2$ enthält und in Gegenwart von Dextrin, Polyvinylalkohol oder anderen das Kristallwachstum störenden Zusätzen gefällt wird. Bleiazid wird als Initialsprengstoff bei der Herstellung von Sprengkapseln verwendet. Als Initialladung wirkt es schon in geringeren Mengen als Knallquecksilber, besitzt eine höhere Auslösungsgeschwindigkeit als dieses und läßt sich nicht wie dieses schon mit geringen Drucken totpressen. Zur Verbesserung der Entzündbarkeit setzt man ihm einen leichter entzündlichen Stoff, z. B. Bleitrinitroresorcinat zu. Durch die Einwirkung der Kohlensäure der Luft wird Bleiazid unter Freiwerden von Stickstoffwassersäure zersetzt.

Die Hülsen von Bleiazidsprengkapseln werden für den schlagwettergefährdeten untertägigen Bergbau aus Kupfer, sonst aus Aluminium hergestellt.

Technische Reinheitsforderungen

Reingehalt (durch Bleibestimmung als Pb CrO_4) mindestens	91,5 %
Feuchtigkeit: höchstens	0,3 %
mechanische Verunreinigungen:	keine
Wasserlösliches: nicht über	1 %
Kupfer:	0
Reaktion:	neutral, nicht sauer
Schüttdichte: mindestens	1,1 g/cm^3
Verpuffungspunkt: nicht unter	300 °C

Bleiblockausbauchung

lead block test; essai au bloc de plomb; coefficient d'utilisation pratique c. u. p.

Die Trauzl'sche Bleiblockmethode dient zur vergleichsweisen Ermittlung des → Arbeitsvermögens eines Explosivstoffes. Es werden 10 g der zu prüfenden Substanz in Stanniolpapier in die zentrale Bohrung von 125 mm Tiefe und 25 mm Durchmesser eines massiven Zylinders aus Weichblei von 200 mm Höhe und 200 mm Durchmesser eingebracht. In der Mitte des Sprengstoffes wird eine Kupfer-Sprengkapsel Nr. 8 mit elektrischer Zündung eingesetzt und der verbleibende Hohlraum mit Quarzsand bestimmter Körnung ausgefüllt. Nach der Explosion wird der entstandene Hohlraum durch Ausgießen mit Wasser ausgemessen. Von dem so gefundenen Wert werden 61 cm^3 für den ursprünglichen Hohlraum abgezogen.

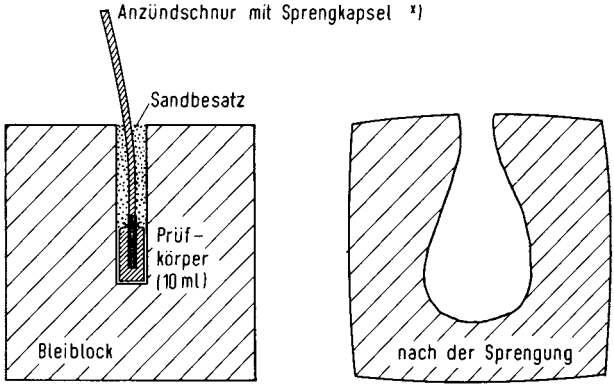


Abb. 7. Bleiblockausbauchung

Nach einer von der BAM vorgeschlagenen Ausführungsart wird anstelle der 10-g-Patrone ein Prüfkörper so hergestellt, daß in einer Vorrichtung die Substanz in Zinnfolie eingehüllt und zu einem zylindrischen Körper von 11 ml Volumen (Abmessung 24,5 mm Durchmesser und 25 mm Höhe mit einer koaxialen Aussparung 7 mm Durchmesser $\times$ 20 mm Höhe für die Sprengkapsel) geformt wird, wobei die Dichte für pulverförmige Stoffe nur wenig oberhalb der Schüttdichte liegen soll. – Flüssigkeiten werden in dünnwandigen zylindrischen Glasampullen oder – in Sonderfällen – direkt in die Bleiblockaussparung eingefüllt.

Gezündet wird mit einer elektrischen Sprengkapsel Nr. 8 aus Kupfer mit 0,4 g eingepreßtem (Druck 380 kp/cm^2) und 0,2 g angedrücktem Nitropenta als Sekundär- und 0,3 g Bleiazid (als Minimum gilt das Dreifache der Grenzladung, die gerade noch zündet) als Primärladung.

Der über dem Prüfkörper verbleibende Hohlraum wird mit getrocknetem und gesiebtem Quarzsand (Korngröße 0,5 mm) besetzt, wie bei der ursprünglichen Methode auch.

Die Ausbauchung wird durch Eingießen von Wasser ermittelt und ergibt nach Abzug von 61 ml die dem Sprengstoffgewicht des Preßkörpers entsprechende Nettoausbauchung. Man gibt diese nach Umrechnung auf die Mengeneinheit 10 g = 1 dag (Dekagramm) entsprechend der internationalen Vereinbarung in ml/dag an.

Die Europäische Kommission zur Vereinheitlichung der Sprengstoffprüfungen hat den Übergang zu Sprengstoffkörpern mit 10 ml Volu-

*) Statt mit Zündschnur und Sprengkapsel kann auch mit elektrischem Zünder gezündet werden.

Tabelle 2.

Stoff	Korngröße mm	Menge in 10 ml Prüfkörper g	Nettoausbauchung ml/10 g
Bleiblockausbauchung einheitlicher Sprengstoffe			
Ethylenglykoldinitrat (Nitroglykol) (flüssig)	—	11,6	620
Methylnitrat (flüssig)	—	8,5	610
Nitropenta	<0,2	9,0	523
Nitroglycerin (flüssig)	—	12,8	520
Hexogen	0,2 (i. M.)	11,8	480
Nitromethan (flüssig)	—	10,4	430
Ethylnitrat (flüssig)	—	10,0	422
Tetryl	<1,0	10,0	410
Nitrocellulose (13,4 % N), faserig	<0,5 lang 0,05 dick	4,4	373
Ethylendiamindinitrat	<0,5	8,6	350
Pikrinsäure	<0,5	10,0	315
Trinitroanilin	<0,75	8,6	310
Trinitrotoluol	0,06 . . . 0,2	9,1	300
Harnstoffnitrat	<0,5	10,3	272
2,4-Dinitrophenol	0,2 . . . 0,5	10,0	243
1,3-Dinitrobenzol	<0,4	5,45	242
2,4-Dinitrotoluol	<0,5	8,2	240
Guanidinnitrat	<0,5	5,45	240
Ammoniumperchlorat	<0,06	10,9	194
Ammoniumnitrat	<0,2	9,8	178
Bleiblockausbauchung gewerblicher Sprengstoffe			
	Dichte g/cm³		
Sprenggelatine	1,55	15,5	600
Gurdynamit	1,35	13,5	412
Dynamit 1	1,53	15,3	505
Ammon-Gelit 3	1,53	15,3	390
Donarit 1	1,01	10,1	380
Ammonit 1	1,03	10,3	370
Ammonit 3	1,0	10,0	405
Wasamon	1,3	13,0	315
Wetter-Securit C	1,3	13,0	90
Wetter-Carbonit C	1,2	12,0	90

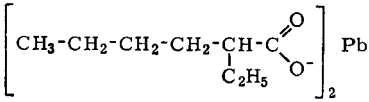
men und unter Auswertung der Ergebnisse gemäß einer Bezugskurve nach *Kurbalinga und Kondrikov*, jedoch nach einer von *Ahrens* vorgeschlagenen Variante ausgewertet; hierbei wird angegeben, mit welchen Nitropenta-Kaliumchlorid-Gemischen unter gleichen Versuchsbedingungen die gleichen Ergebnisse wie beim Prüfling erhalten werden. In der Praxis hat sich eingebürgert, Ladungen mit 10 ml Volumen zu sprengen und das Ergebnis auf 10 g umzurechnen.

Andere konventionelle Methoden zur Ermittlung des Arbeitsvermögens sind die Prüfung mit dem ballistischen Mörser und der Sand-Test.

(Näheres, sowie weitere Teste, → unter „Arbeitsvermögen“).

Bleiethylhexanoat

lead ethylhexanoate; éthylhexanoate de plomb



farblos, fast amorph
Bruttoformel: $C_{16}H_{30}O_4Pb$
Mol.-Gew.: 493,61
Sauerstoffwert: –142,6 %
Bildungsenergie: –703,5 kcal/kg = –2945,2 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –723,8 kcal/kg = –3030,6 kJ/kg

Bleiethylhexoat ist ein abbrand-moderierender Zusatz, insbesondere zu Raketentreibsätzen auf → POL-Pulver-Basis.

Blei-freie Anzündsätze

Die Belastung der Luft in gedeckten Schießständen mit gesundheitsgefährdenden Schadstoffen führte zur Forderung nach Blei-, Barium-, Antimon- und Quecksilber-freier Sport-Munition.

→ SINTOX-Anzündsätze.

Bleinitrat

lead nitrate, nitrate de plomb, LN

$Pb(NO_3)_2$

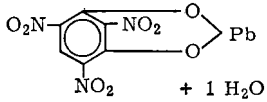
farblose Kristalle
Mol.-Gew.: 331,2

Bildungsenergie: –317,0 kcal/kg = –1327,1 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –324,1 kcal/kg = –1357,0 kJ/kg
Sauerstoffwert: +24,2 %
Stickstoffgehalt: 8,46 %
Dichte: 4,53 g/cm^3
F.: Zersetzung ab 200 °C

In Zündgemischen, bei denen ein besonders hohes spezifisches Gewicht erwünscht ist, wird Bleinitrat als Sauerstoffträger verwendet.

Bleitrinitroresorcinat, Bleistyphnat

lead styphnate; trinitrorésorcinate de plomb; Bleitrizinat; Trizinat



orangegelbe bis dunkelbraune Kristalle
Bruttoformel: $C_6H_3N_3O_9Pb$
Mol.-Gew.: 468,3
Bildungsenergie: –417,6 kcal/kg = –1748,4 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –427,1 kcal/kg = –1788,1 kJ/kg
Sauerstoffwert: –18,8 %
Stickstoffgehalt: 8,97 %
Normalgasvolumen: 469 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 347 kcal/kg = 1454 kJ/kg
(H_2O gas): 329 kcal/kg = 1376 kJ/kg
Spezif. Energie: 35,8 mt/kg = 352 kJ/kg
Dichte: 3,0 g/cm^3
Bleiblockausbauchung: 130 cm^3
Detonationsgeschwindigkeit:
5200 m/s bei ϱ = 2,9 g/cm^3
Verpuffungspunkt: 275–280 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,25–0,50 kpm = 2,5–5 Nm

Bleitrinitroresorcinat ist in Wasser fast unlöslich (0,04 %), wenig löslich in Aceton und Ethanol, unlöslich in Ether, Chloroform, Benzol, Toluol. Es wird durch die Reaktion einer wäßrigen Magnesiumtrinitroresorcinatlösung mit einer Bleinitratlösung unter Einhaltung von bestimmten Konzentrationsbedingungen sowie eines bestimmten Temperatur- und pH-Bereiches unter Rühren in einem heiz- und kühlbaren Reaktionsgefäß hergestellt. Die zur Bleitricinat-Fällung erforderliche Magnesiumtrinitroresorcinatlösung wird unter Rühren in einem Lösegefäß durch Umsetzen einer wäßrigen Aufschlämmung von Trinitroresorcin und Magnesiumoxydpulver als schwarzbraune Lösung erhalten.

Bleitrinitroresorcinat als Initialsprengstoff verwendet man überwiegend im Gemisch mit Bleiazid als Aufladung in Sprengstoffkapseln, wozu es sich wegen seiner leichten Zündfähigkeit und geringen Hygroskopizität gut eignet. Ferner ist es neben üblichen Zuschlagstoffen und wenigen Gewichtsprozenten an Tetrazen der Hauptbestandteil der → Sinoxid-Sätze für erosionsfreie Anzündhütchen.

Unvermischtes Bleitrinitroresorcinat lädt sich sehr leicht auf und ist gegen elektrostatische Aufladungen extrem zündempfindlich.

Technische Reinheitsforderungen

Reingehalt: nicht unter	98 %
Feuchtigkeit: nicht über	0,15 %
Bleigehalt (Bestimmung als $PbCrO_4$):	43,2 – 44,3 %
Schwermetalle außer Blei: nicht über	0,5 %
Ca + Mg: nicht über	0,5 %
Na: nicht über	0,07 %
pH:	5 – 7
Schüttdichte:	1,3 – 1,5 g/cm^3
Verpuffungspunkt: nicht unter	270 °C

Böllerpulver

ist gekörntes (bis 2 mm) → Schwarzpulver für Schießzwecke

Booster

ist die englische Bezeichnung für → Verstärkungsladungen jeder Art, sowohl für Sprengladungen wie für Raketentreibsätze. In der Raketentechnik können Booster selbständige Raketen mit erhöhtem Schub zur Starthilfe bedeuten. Mit Zündmittel versehene Übertragungsladungen für Sprengladungen können auch als „Primer“ bezeichnet werden, → Zündladungskörper.

Brenngeschwindigkeit

burning rate; vitesse de combustion

→ Abbrandgeschwindigkeit

Brennkammer

burning chamber; chambre de combustion

bezeichnet in der Raketentechnik den Raum, in dem die Reaktion der Treibmittel stattfindet.

Bei Feststoffraketen ist der Behälter des Treibsatzes gleichzeitig die Brennkammer, bei Flüssigkeitsraketen ist es der Raum, in dem die eingespritzten flüssigen Treibstoffkomponenten reagieren. Die Brennkammer muß dem gewählten Arbeitsdruck und den an die Kammerwand gelangenden Temperaturen standhalten; bei Flüssigkeitsraketen wird die Kammerwand meist gekühlt, bei den Feststoffraketen ist bei den vielfach benutzten kammerwandgebundenen Innenbrennern ein Schutz durch den Treibsatz selbst gegeben. Aus diesen Bedingungen ergibt sich die Auswahl des geeigneten Werkstoffes. Da sich das Eigengewicht der Brennkammer entscheidend auf die Reichweite der Rakete auswirkt, ist die minimal mögliche Wandstärke anzustreben. Der Einsatz thermisch gut isolierter und durch Einlagen (z. B. Glasfaser) verstärkter Kunststoffe hat sich bereits bewährt.

Zur Prüfung des Verhaltens von Raketen-Festtreibstoffen und zur Ermittlung ihrer Kenndaten sind Norm-Brennkammern und Labor-Brennkammern*) entwickelt worden.

Brennschluß

end of burning; fin de combustion

Bezeichnung für den Augenblick, in dem der Gasstrahl einer Rakete aussetzt. Bei Feststoffraketen tritt er ein, wenn der Treibsatz verbrannt ist; bei Flüssigkeitsraketen kann gegebenenfalls eine neue Zündung erfolgen.

Brennschlußgeschwindigkeit

end-burning velocity; vitesse en fin de combustion

Die beim Brennschluß erreichte Geschwindigkeit einer Rakete. Sie hängt ab von der Ausströmgeschwindigkeit, dem Massenverhältnis und der Brennzeit.

Brennstoff

fuel; combustible

Viele Kompositionen, die einer explosiven bzw. ohne Luftsauerstoff abbrennenden Reaktion fähig sind, werden aus → Sauerstoffträgern und aus Brennstoffen gemischt. Brennstoffe sind Stoffe, welche sich mit Sauerstoff bzw. anderen Oxidantien unter Wärmeentwicklung umzusetzen vermögen. Der Begriff Brennstoff reicht hierbei weiter als im

*) *E. Haeuseler* und *W. Diehl*, Explosivstoffe 15 (1967), S. 217.

täglichen Sprachgebrauch; Ammoniumchlorid z. B. kann in gewissen Mischungen (→ Wettersprengstoffe) als Brennstoff eintreten.

Brisanz

brisance

Unter dem Stichwort „Arbeitsvermögen“ wird auseinandergesetzt, daß das Leistungsvermögen eines Explosivstoffs nicht mit einer einzigen Kennzahl zu charakterisieren ist. Unter Brisanz versteht man den zertrümmernden Effekt einer Ladung auf die unmittelbare Umgebung. Neben den anderen Kenndaten, wie Gasausbeute und Explosionswärme, stehen hierfür die Detonationsgeschwindigkeit und die Ladedichte des Sprengstoffs im Vordergrund. Je dichter der Sprengstoff

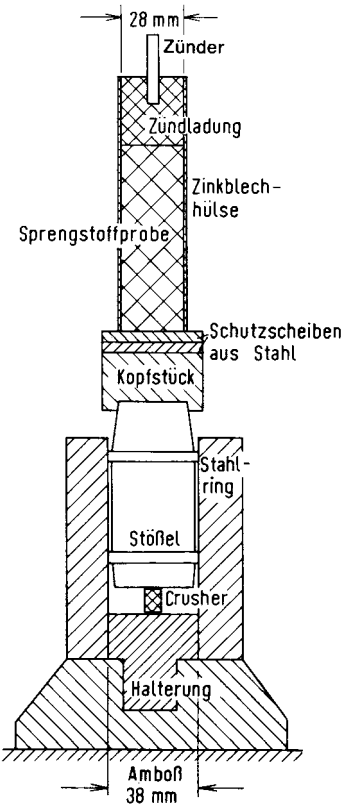


Abb. 8. Stauchprobe nach *Knast*

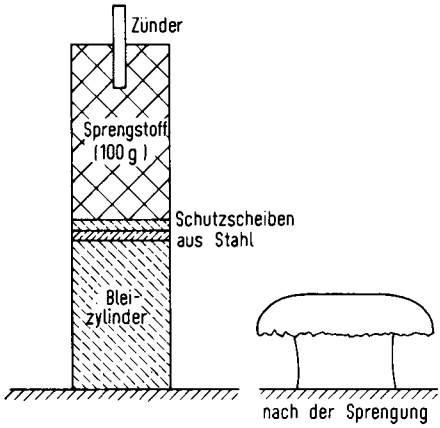


Abb. 9. Stauchprobe nach *Heß*

geladen (gegossen oder gepreßt) werden kann, um so höher ist die Konzentration seiner Leistung je Volumeneinheit, und je schneller er sich umsetzt, um so schlagender ist die Wirkung seiner Detonation. Außerdem steigt mit seiner Dichte auch die Detonationsgeschwindigkeit des Sprengstoffs, und der Stoßwellendruck in der Detonationsfront (→ Detonation) hängt quadratisch von der Detonationsgeschwindigkeit ab. Hieraus ist erkennbar, wie wichtig die Erzielung der maximal möglichen Ladedichte ist. Ganz besonders trifft dies für Hohlladungen zu (siehe dort).

Als „Brisanzwert“ führte *Kast* das Produkt aus Ladedichte, spezifischer Energie und Detonationsgeschwindigkeit ein.

Prüfungen zur Ermittlung der Brisanz sind die Bestimmungen des Stauchwerts nach *Kast* und nach *Heß*: es wird die Stauchung eines Kupferzylinders vermittels eines Stempelapparats bzw. eines frei stehenden Bleizylinders durch eine bestimmte zylindrische Ladung des zu untersuchenden Sprengstoffs ermittelt.

Abb. 8 zeigt die Versuchsanordnung nach *Kast* und Abb. 9 die nach *Heß*. Die Prüfung nach *Heß* ist apparativ einfacher. Sensibilisierte Sprengstoffe, wie z. B. → seismische Sprengstoffe, können die völlige Zerstörung des Bleizylinders bewirken.

Brückenzünder

bridgewire detonator; amorce à pont

dienen in der gewerblichen Sprengpraxis zum Zünden von Sprengladungen. Sie enthalten eine zum Aufglühen durch einen Stromstoß bestimmte „Glühbrücke“ aus dünnem Widerstandsdraht, um den eine „Zündpille“ durch mehrfaches Tauchen und Trocknen einer in Lösemittel gelösten pyrotechnischen Masse laboriert ist; der Zündstrahl wirkt bei Momentzündern direkt, bei Zeitzündern über einen Verzögerungssatz auf den Zündspiegel einer an den Zündpillenteil wasserdicht angewürgten Sprengkapsel ein.

Als Zündimpuls werden bei den im Bergbau eingeführten „U“-Zündern 16 Milliwattsekunden pro Ohm benötigt; die früher gebräuchlichen Zünder „A“ brauchten nur 3 Milliwattsekunden pro Ohm, die U-Typen sind daher erheblich streustromsicherer. Außerdem gibt es für durch Gewitterelektrizität gefährdete Betriebspunkte hochunempfindliche „HU“-Zünder, welche erst mit 2500 Milliwattsekunden pro Ohm zur sicheren Entzündung gebracht werden (die angegebenen Bezeichnungen und Klassifizierungen beziehen sich auf die Produkte der Dynamit Nobel AG, Troisdorf).

Die durch Verzögerungssätze auf bestimmte Zeiten eingestellten Zünder weisen Verzögerungsstufen je einer viertel oder einer halben Sekunde („Langzeitzünder“) bzw. von 20 oder 30 Millisekunden („Kurzzeitzünder“) auf.

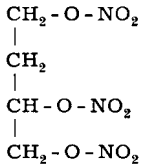
Sprengen mit Millisekundenzündern bringt gewisse Vorteile in der Ausbeute an hereingesprengtem Gestein und Zertrümmerungsgrad des Haufwerks ein; auch kann die Erderschütterung der Umgebung geringer sein.

Im schlagwettergefährdeten Kohlebergbau wird als Hülsenmaterial Kupfer anstelle des sonst üblichen Aluminiums verwendet („schlagwettersichere Zünder“).

Zum Auslösen der mit Brückenzündern versehenen Sprengladungen dienen → Zündmaschinen. Beim Sprengen mehrerer Ladungen in einem Zündgang werden die Zünder in Serie geschaltet über die Zündleitung an die Zündmaschine angeschlossen. Nur in besonderen Fällen wird für die Zünder → Parallelschaltung angewendet. Hierfür und zum Sprengen mit HU-Zündern sind besondere Zündmaschinen erforderlich.

1,2,4-Butantrioltrinitrat

butanetriol trinitrate; trinitrate de butantriol; B. T. T. oder B. T. T. N.



hellgelbe Flüssigkeit
Bruttoformel: $C_4H_7N_3O_9$
Mol.-Gew.: 241,1
Bildungsenergie: –259,7 kcal/kg = –1087 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –283,0 kcal/kg = –1184 kJ/kg
Sauerstoffwert: –16,6 %
Stickstoffgehalt: 17,43 %
Dichte: 1,52 g/cm^3 (20/4)
Brechungsindex: n^D_{20} = 1,4738
E. P. (nach Impfung): –27 °C
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1559 kcal/kg = 6526 kJ/kg
(H_2O gas): 1447 kcal/kg = 6057 kJ/kg
Normalgasvolumen: 874 l/kg
Schlagempfindlichkeit: 0,1 kp m = 1 Nm
Reibempfindlichkeit: bis 36 kp = 353 N Stiftbelastung
keine Reaktion

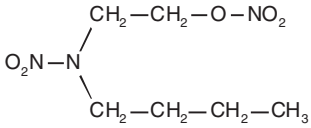
Durch die neuere Entwicklung in der organischen Chemie, speziell der Acetylenchemie (Reppe), sind neben den klassischen Produkten, wie Glycerin, Glykolen u. ä., eine Reihe von mehrwertigen Alkoholen verfügbar geworden, deren Nitrate als Sprengöle Interesse gefunden haben; hierzu gehört das 1,2,4-Butantrioltrinitrat.

1,2,4-Butantriol wird mit Salpetersäure/Schwefelsäure nitriert. Die Stabilität des nitrierten Produktes ist sehr gut. Die Gelatinierung mit Nitrocellulose ist ähnlich der des Nitroglyzerins.

Butantrioltrinitrat fand Verwendung für sogenannte „tropenfeste POL-Pulver“. Auch Isomere des Butantrioltrinitrates sind verwendet und untersucht worden, z. B. das Methylglycerintrinitrat oder 2,3,4-Butantrioltrinitrat, welches sehr ähnliche Eigenschaften aufweist.

N-Butyl-nitratoethyl-nitramin

N-Butyl-N-(2-nitroxyethyl)nitramine; BuNENA



Farblose Flüssigkeit
Empirische Bruttoformel: $C_6\ H_{13}N_3O_5$
Mol.-Gew.: 207,19
Bildungsenergie: –803.34 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –928.94kJ/kg
Sauerstoffwert: –104.25 %
Stickstoffgehalt: 20.28 %
Dichte: 1.22 g/cm^3
Schmelzpunkt: –9 °C

Diese Verbindung wird aus N-Butylethanolamin hergestellt. Sie wird als energetischer Weichmacher in wenig empfindlichen Treibstoffformulierungen mit Polyether- und Polyesterpolyurethanbindern eingesetzt.

Calciumnitrat

calcium nitrate; nitrate de calcium; Kalksalpeter

$Ca(NO_3)_2 \cdot 4\ H_2O$

farblose Kristalle

Die folgenden Daten sind auf das wasserfreie Produkt bezogen:

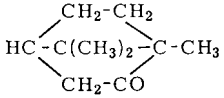
Mol.-Gew.: 164,1
Bildungsenergie: –1351 kcal/kg = –5657 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –1365 kcal/kg = –5715 kJ/kg
Sauerstoffwert: +48,75 %
Stickstoffgehalt: 17,07 %
F. l.: 561 °C
Sehr hygroskopisch

Als technisches Produkt wird auch ein gelbliches Granulat etwa der Formel 5 $Ca(NO_3)_2 \cdot NH_4NO_3 \cdot 10\ H_2O$ vertrieben.

Calciumnitrat wurde in entwässerter Form in den (heute nicht mehr vertriebenen) → Calciniten eingesetzt. Heute wird es als Bestandteil von → Sprengschlämmen („slurries“) verwendet. Während des Krieges war Calciumnitrat Bestandteil gießbarer Ammonsalpeter-Sprengstoffe als Geschoß- und Bombenfüllung (→ Ammonite).

Campher

camphor; camphre; Kampfer



Bruttoformel: $C_{10}H_{16}O$
Mol.-Gew.: 152,3
Bildungsenergie: –480,0 kcal/kg = –2009,5 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –513,0 kcal/kg = –2148,0 kJ/kg
Sauerstoffwert: –283,78 %
Dichte: 0,98–0,99 g/cm^3
F.: 177–178 °C
Kp.: 209 °C

Campher ist ein guter Gelatinator (→ Stabilisatoren) für Nitrocellulose; er wird als solcher in der Celluloidfabrikation, aber auch in Schießpulvern verwendet.

Technische Reinheitsforderungen

Reingehalt: nicht unter (durch Titration mit Hydroxylamin)	99 %
Schmelzpunkt nicht unter	176 °C
Ether- und Alkohol-unlösliches: nicht über	0,1 %
Chloride: nicht mehr als	Spuren

Caput mortuum

Bezeichnung für ein besonders feinpulvriges Eisenoxidrot (Fe_2O_3), das als rotfärbende Beimischung in geringen Mengen den gewerblichen Gesteins-Sprengstoffen zugefügt wird, um sie von den ungefärbten Wettersprengstoffen deutlich zu unterscheiden.

Case bonding

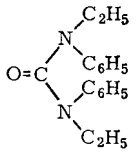
bezeichnet eine moderne Verarbeitungstechnik auf dem Gebiet der Festtreibstoffraketen. Bei diesem Verfahren wird der härtbare Treibstoff (→ Composite Propellants) direkt in die mit einer Binde- und Isolierschicht vorbehandelte Brennkammer eingegossen und darin ausgehärtet. Da bei Temperaturwechsel große Spannungen infolge der Verschiedenheit der thermischen Ausdehnungskoeffizienten zu erwarten sind, ist für das Gelingen dieser Technik das Haftvermögen der Binde- und Isolierschicht an der Metallwand einerseits und am erhärteten Treibsatz andererseits und ihr elastomeres Ausgleichsvermögen wesentlich.

CDB-Treibsätze

→ Verbundtreibsätze

Centralit I

diethyldiphenylurea; diéthyldiphénylurée;
Symm. Diethyldiphenylharnstoff



farbloses kristallines Pulver
Bruttoformel: $C_{17}H_{20}N_2O$
Mol.-Gew.: 268,4
Bildungsenergie: –68,2 kcal/kg = –285,4 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –93,5 kcal/kg = –391,6 kJ/kg
Sauerstoffwert: –256,38 %
Stickstoffgehalt: 10,44 %
Dichte: 1,112 g/cm^3
F.: 71,5–72 °C
Kp.: 326–330 °C
Flammpunkt: 165 °C

Centralit I dient als → Stabilisator für Schießpulver, besonders für Nitroglyzerin-Pulver.

Es ist unlöslich in Wasser, löslich in organischen Lösungsmitteln.

Der Name „Centralit“ leitet sich ab von der „Zentralstelle für wissenschaftlich-technische Untersuchungen in Neubabelsberg“, die diesen Stoff erstmalig für Pulverzwecke einsetzte. Auch die Schreibform „Zentralite“ wurde bekannt.

Centralit I hat neben stabilisierenden auch gelatinierende Eigenschaften, die in lösemittelfreien Fertigungsprozessen für Schießpulver ausgenutzt werden.

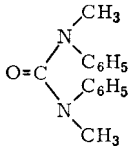
Technische Reinheitsforderungen

Erstarrungspunkt: nicht unter	71 °C
Aussehen der Schmelze:	klar, hell
Aschegehalt: nicht über	0,1 %
flüchtige Bestandteile: nicht über	0,1 %
Lösung in Aceton:	klar, ohne Bodensatz
sekundäre und tertiäre Amine: nicht über	0,1 %
Chloride als HCl: nicht über	0,001 %

Reaktion:	neutral
Säure als H_2SO_4: nicht über	0,04 %

Centralit II

dimethyldiphenylurea; diméthyl diphénylurée;
Symm. Dimethyldiphenylharnstoff



Bruttoformel: $C_{15}H_{16}N_2O$
Mol.-Gew.: 240,3
Bildungsenergie: –37,3 kcal/kg = –156,4 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –60,8 kcal/kg = –254 kJ/kg
Sauerstoffwert: –246,31 %
Stickstoffgehalt: 11,66 %

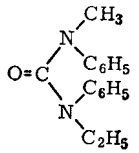
Centralit II wirkt sowohl stabilisierend als auch gelatinierend bei Schießpulvern, die ohne flüchtige Lösemittel auf der Basis von Nitrocellulose und Nitroglyzerin hergestellt werden.

Technische Reinheitsforderungen

wie für Centralit I, jedoch Erstarrungspunkt: nicht unter 119 °C

Centralit III

methylethyldiphenylurea; N-méthyl-N'-éthyl-NN′-diphényluree;
Methylethyldiphenylharnstoff



Bruttoformel: $C_{16}H_{18}N_2O$
Mol.-Gew.: 254,3
Bildungsenergie: –94,7 kcal/kg = –396,5 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –119,1 kcal/kg = –498,8 kJ/kg
Sauerstoffwert: –251,7 %
Stickstoffgehalt: 11,02 %

Centralit III ist gleichzeitig Stabilisator und Gelatinator in bestimmten Schießpulvern.

Technische Reinheitsforderungen

wie für Centralit I, jedoch Erstarrungspunkt: nicht unter 57 °C

Chloratsprengstoffe

chlorate explosives; explosifs chloratés

sind explosive Gemenge von Chloraten der Alkalien oder alkalischen Erden mit kohlenstoffreichen organischen Verbindungen, wie Holzmehl, Petroleum, Ölen und Fetten und Nitroderivaten des Benzols oder Toluols, denen auch flüssige Salpetersäureester beigemengt werden können.

Ihre Sprengleistung ist geringer als die der pulverförmigen Ammonsalpetersprengstoffe. Chloratsprengstoffe dürfen nicht zusammen mit Ammonsalpetersprengstoffen gelagert werden, da durch Kontakt gebildetes Ammoniumchlorat selbstentzündlich ist.

Chloratsprengstoffe werden seit über 70 Jahren in der Bundesrepublik nicht mehr hergestellt.

Composite Propellants

→ Verbundtreibsätze

Composition A, A-2 und A-3

sind gepreßte Ladungen aus phlegmatisiertem Hexogen und unterscheiden sich nur durch die verschiedenen Wachssorten. Detonationsgeschwindigkeit 8100 m/s.

Composition B, B-2

Hexolit; Hexotol

Dichte: etwa 1,65 g/cm^3
Detonationsgeschwindigkeit:
7800 m/s bei Maximaldichte

sind gießbare Gemische aus Hexogen und Trinitrotoluol in der Zusammensetzung 60/40, zum Teil unter Zusatz von Wachs. Man verwendet sie zum Füllen von Bomben, Minen und Hohlladungen.

Composition C, C-2, C-3 und C-4

sind plastische Sprengstoffe für militärische Verwendung, die aus Hexogen und öligen, zum Teil sprengkräftigen Plastifizierungsmitteln bestehen:

Zusammensetzungen:

C: 88,3 % Hexogen
11,7 % nicht-sprengkräftiges Plastifiziermittel
C-2: 78,7 % Hexogen
21,3 % sprengkräftiges Plastifiziermittel
C-3: 77,0 % Hexogen
23,0 % sprengkräftiges Plastifiziermittel
C-4: 91,0 % Hexogen (Auswahlkörnung)
9,0 % Polyisobutylen (5,3 %) + Weichmacher

Composition I; II

Bezeichnung für eutektische Mischungen von Ammoniumnitrat, Natriumnitrat, Dicyandiamid und Guanidinnitrat:

	Composition I	II
Ammoniumnitrat	65,5	60
Natriumnitrat	10,0	24
Dicyandiamid	14,5	8
Guanidinnitrat	10,0	8

Cordite

ist eine in England gebräuchliche Bezeichnung für zweibasige Nitroglycerin-Nitrocellulose-Pulver.

Crawford-Bombe

Crawford bomb; bombe Crawford

Die Crawford-Bombe dient zur Ermittlung der Brenngeschwindigkeit (→ Abbrandgeschwindigkeit) von Festtreibstoffen.

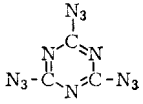
Der Treibsatz wird in Form schmaler geschnittener oder stranggepreßter, mantelseitig gegen Abbrand isolierter („inhibierter") Stäbe meist runden Querschnitts, den sogen. „strands", in einer Bombe stirnseitig

elektrisch zur Entzündung gebracht und die Brenngeschwindigkeit mit Hilfe von Drahtsonden registriert. Hierbei wird in der Bombe durch Stickstoff der Druck eingestellt, bei welchem die Brenngeschwindigkeit des zu prüfenden Treibsatzes gemessen werden soll. Ein Standardwert ist: 1000 libs per square inch = 68,9 bar und 70 °F = 21 °C.

Eine eingehende Arbeitsvorschrift zur Bestimmung der Brenngeschwindigkeit in der Crawford-Bombe wurde vom → BICT aufgestellt (festgelegt in: Technische Lieferbedingungen des BWB, TL 1376–701, Teil III, Blatt 7).

Cyanurtriazid; 2,4,6-Triazido-s-triazin

cyanuric triazide; triazide cyanurique



weiße Kristalle
Bruttoformel: C_3N_{12}
Mol.-Gew.: 204,1
Bildungsenergie: +4565,0 kJ/kg
Bildungsenthalpie: +4492,2 kJ/kg
Sauerstoffwert: –47 %
Stickstoffgehalt: 82,36 %
Dichte: 1,15 g/cm^3
F. (unter Zersetzung): 94 °C
Detonationsgeschwindigkeit: 5500 m/s bei ϱ = 1,02 g/cm^3
Bleiblockausbauchung: 415 cm^3/10 g
Verpuffungspunkt (unter Explosion): 200–205 °C

Cyanurtriazid wird durch langsames Eintragen gepulverten Chlorcyans in eine wäßrige Lösung von Natriumazid bei guter Kühlung hergestellt. Cyanurtriazid ist ein wirksamer Initialsprengstoff. Eingang in die Praxis hat es nicht gefunden, da der Dampfdruck hoch ist.

Cyclotol

bezeichnet Gemische aus Hexogen und TNT in Zusammensetzungen 60/40 bis 70/30.

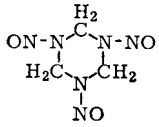
→ „Composition B“.

Cyclonite

→ Hexogen

Cyclotrimethylentrinitrosamin

cyclotrimethylenetrinitrosamine; cyclotrimethylènetrinitrosamine; Trinitrosotrimethylentriamin



blaßgelbe Kristalle
Bruttoformel: $C_3H_6N_6O_3$
Mol.-Gew.: 174,1
Bildungsenergie: +1749,6 kJ/kg
Bildungsenthalpie: +1642,8 kJ/kg
Sauerstoffwert: –55,1 %
Stickstoffgehalt: 48,28 %
F.: 102 °C
Normalgasvolumen: 1144 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 4483 kJ/kg
(H_2O gas): 4366 kJ/kg
Spezif. Energie: 1288 kJ/kg
Bleiblockausbauchung: 370 cm^3/10 g
Detonationsgeschwindigkeit:
7300 m/s bei ϱ = 1,5 g/cm^3

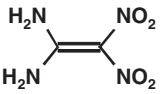
Die Verbindung ist löslich in Aceton, Alkohol, Chloroform, Benzol, etwas löslich in Wasser.

Die dem Hexogen entsprechende Nitrosoverbindung entsteht aus Hexamethylentetramin durch Behandlung mit Alkalinitraten in verdünnt saurer Lösung.

Da zur Herstellung keine konzentrierte Säure erforderlich ist, stand das Produkt während des zweiten Weltkrieges einmal im Vordergrund der Überlegungen (R-Salz). Die praktische Verwendung des leicht zugänglichen kräftigen Sprengstoffes scheiterte bisher an der nicht restlos befriedigenden chemischen und thermischen Stabilität sowie an der relativ geringen Ausbeute.

DADNE

1,1-Diamino-2,2-dinitroethylen; DADNE; FOX-7



Gelbe Kristalle
Bruttoformel: $C_2H_4N_4O_4$
Mol.-Gew.: 148.08 g
Bildungsenergie: –119 kJ/mol
Bildungsenthalpie: –133.9 kJ/mol
Sauerstoffwert: –21.61 %
Normalgasvolumen 779 l/kg
Explosionswärme (berechnet): 4091J/g (H_2O gas);
4442 J/g (H_2O flüssig)
Dichte:
α-Modifikation 1.89 g/cm^3
β-Modifikation 1.80 g/cm^3
Spezifische Energie: 1156 J/g
Detonationsgeschwindigkeit: 8869 m/s
Verpuffungspunkt: 215 °C
Schlagempfindlichkeit: 20 – 40 Nm
Reibempfindlichkeit > 550 N

DADNE, ein relative neuer, wenig empfindlicher Hochleistungsexplosivstoff, wurde von der Schwedischen FOI entwickelt. DADNE ist unlöslich in Wasser, wenig löslich in Acetonitril und Cyclohexanon und löslich in DMSO, Dimethylformamid und N-Methylpyrrolidon. Es kann zu allergischen Hautreaktionen führen.

DADNE ist interessant für die Entwicklung von wenig empfindlichen Explosivstoffen, die eine ähnliche Leistung aber deutlich geringere Detonationsempfindlichkeit als analoge Formulierungen mit Hexogen besitzen. Drei Modifikationen, α, β und γ wurden mittels Röntgenbeugung nachgewiesen, aber nur α-DADNE ist bei Raumtemperatur stabil. Umwandlungen von α nach β und von β nach γ wurden bei 113 bzw. 173 °C gemessen.

Dautriche-Methode

dient zur Messung der Detonationsgeschwindigkeit. Der zu prüfende Sprengstoff wird in einer Säule, mit oder ohne Einschluß durch ein Eisenrohr, angeordnet; eine Meßstrecke genau bestimmter Länge wird am Anfang und Ende mit je einer seitlich herausgeführten Sprengkapsel begrenzt. Zwischen Anfang und Ende der Meßstrecke wird

eine Schleife aus Sprengschnur mit bekannter Detonationsgeschwindigkeit gelegt und im mittleren Teil dabei über eine Bleiplatte geführt. Die dabei nacheinander an beiden Seiten gezündete Sprengschnur markiert auf dem Blei kerbartig den Treffpunkt der beiden aufeinander zulaufenden Detonationswellen. Der Abstand dieses Treffpunktes von der geometrischen Schnurmitte ist ein reziprokes Maß für die zu messende Detonationsgeschwindigkeit:

$$D_x = D \times \frac{m}{2a}$$

D_x = gesuchte Geschwindigkeit
D = Detonationsgeschwindigkeit der Sprengschnur
m = Länge der Meßstrecke
a = Abstand der Kerbmarkierung von der Schnurmitte

Die Methode ist leicht ausführbar und erfordert keinen großen apparativen Aufwand.

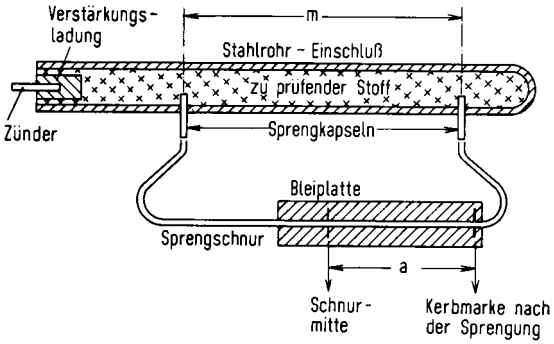


Abb. 10. Dautriche-Methode

DBX

in den USA verwendete gegossene Sprengladung aus Hexogen, Ammoniumnitrat, Trinitrotoluol und Aluminiumpulver (21/21/40/18).

Deflagration

deflagration; déflagration

Vielfach können Explosivstoffe einer Zersetzungsreaktion unterliegen, die wesentlich unterhalb der Schallgeschwindigkeit des Stoffes abläuft und des Hinzutretens von Luftsauerstoff nicht bedarf. Einen solchen Ablauf nennt man Deflagration. Sie pflanzt sich durch die freiwer-

dende Reaktionswärme fort, die Umsetzungsprodukte strömen entgegengesetzt zur Fortpflanzungsrichtung ab (im Gegensatz hierzu: → Detonation). Der Abbrand eines Pulvers und eines Raketen-Treibsatzes ist ein Deflagriervorgang (→ Abbrandgeschwindigkeit). Der Reaktionsablauf eines Explosivstoffs als Deflagration oder als Detonation wird durch die Art der Auslösung (→ Anzünden; → Zünden) wesentlich beeinflußt.

Über Übergänge von Deflagration in Detonation und umgekehrt → Detonation, S. 78 und 79.

Eine wichtige Rolle spielt die Vermeidung der Deflagration auf dem Gebiet der Wettersprengstoffe. Da die deflagrierende Umsetzung eines Sprengstoffs ein langsamerer Vorgang als die Detonation ist, bedeutet sie eine Zündgefahr für schlagende Wetter und muß daher durch Zusammensetzung und Anwendungstechnik ausgeschlossen werden.

Delaborieren von explosiven Gegenständen, insbesondere Munition

Prinzipiell ist hierbei zu unterscheiden zwischen bekannter, in eigenen Lägern zuverlässig verwalteter Munition, die aus Routine-Gründen (Alter; Überholtsein durch neue Typen) ausgesondert wird, und Fund- bzw. Beutemunition, die überdies erheblich korrodierenden Einflüssen ausgesetzt gewesen oder außerdem mit nicht mehr kontrollierbaren Langzeitzündern ausgestattet sein kann. Das Hantieren von Fundmunition gehört zu den gefährlichsten Arbeiten auf dem Gebiet des Umgangs mit Explosivstoffen und muß Spezialisten (Fachkunde im Sinne des Gesetzes über explosionsgefährliche Stoffe genügt nicht!) überlassen bleiben; dies gilt bereits für das erste Bewegen am Fundort. Delaborierungsarbeiten an Fundmunition werden an dieser Stelle nicht weiter behandelt.

Die Gegenstände werden nach ihrer Art in Gefahrenklassen eingeteilt, je nachdem, ob sie mit Zündern versehen sind, die Initialsprengstoffe enthalten und ob die Gefahr der Massenexplosion (→ Massenexplosionsgefährlichkeit) gegeben ist. Gefährliche mechanische Arbeiten, wie Abschrauben oder Absägen von Zündern, Abstechen, Fräsen und Sägen ist auf jeden Fall unter Sicherheit auszuführen; im übrigen gelten für diese Arbeiten immer die Unfallverhütungsvorschriften*).

Schmelzbare Sprengstoffe, wie TNT und TNT-Gemische können aus ihren Behältern (Granaten, Bomben, Minen) nach Entfernen von Zündern und Verstärkerladungen („Boostern“) durch Ausschmelzen ent-

*) Munitionszerlege-Richtlinien, Jan. 1996, ZH 1/47.

fernt und, ggf. nach gewissen Reinigungsoperationen, für nicht militärische Zwecke wieder verwendet werden.

Detonation; Hydrodynamische Theorie der Detonation

detonation; thermohydrodynamic theory of d.;
détonation; théorie hydrodynamique de dét.

Eine Detonation ist eine solche Reaktionsform der Umsetzung eines Explosivstoffs (zur Definition → „Explosionsfähiger Stoff"), bei der die chemische Reaktion mit einer Stoßwelle gekoppelt ist. Im Wellenkopf der Stoßwelle treten hohe Temperatur- und Druck-Sprünge auf, so daß die chemische Umsetzung momentan eingeleitet wird. Detonationen liegen im Geschwindigkeitsbereich von etwa 1500 bis 9000 m/s, langsamere, durch Wärme-Leitung und -Strahlung fortgeleitete Umsetzungen von Explosivstoffen werden als → Deflagrationen bezeichnet.

Stoßwellen entstehen auch in einem nicht explosiblen Medium durch plötzliche Druckeinwirkung; die Entstehung im nicht explosiblen Gas, z. B. Luft, sei durch eine Betrachtung veranschaulicht, die wir *R. Bekker* zu verdanken haben:

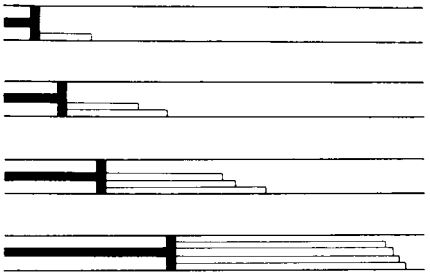


Abb. 11. Entstehung einer ebenen Stoßwelle

In einem Rohr werde ein beweglich gedachter Stempel plötzlich aus dem Stillstand beschleunigt und anschließend mit gleichbleibender Geschwindigkeit fortbewegt (Phase 1). Die Luft vor dem Stempel muß etwas komprimiert werden und erwärmt sich dabei etwas; die Reichweite dieser Kompression wird durch die Schallgeschwindigkeit der Luft bestimmt.

Die Druckerhöhung und ihre Reichweite bis zu einem kurzen Zeitmoment ist durch die Linie vor dem Stempel dargestellt. In diesem Zeitpunkt nun werde der Stempel abermals beschleunigt und mit der neuen, höheren Geschwindigkeit weiterlaufen gelassen; die neue

Kompression teilt sich dem nunmehr schon etwas bewegten Medium (z. B. der Luft) gemäß „Phase 2“ der Zeichnung mit; sie bewegt sich schneller, da sich die Materie-Bewegung überlagert und außerdem im etwas erwärmten Medium die Schallgeschwindigkeit schneller geworden ist. Die Phasen 3, 4, usw. zeigen, daß zwangsweise eine steile Druckfront entstehen muß. Von einer Ableitung der mathematischen Beziehungen zu derartigen Vorgängen sei im Rahmen dieses Buches verzichtet*).

Die Bezeichnungen der Zustandsgrößen seien:

	ungestörtes Medium	Medium im Verdichtungsstoß
Temperatur	T_0	T_1
Druck	p_0	p_1
Dichte	ϱ_0	ϱ_1
spezifisches Volumen $v = \frac{1}{\varrho}$	v_0	v_1
innere Energie	e_0	e_1
Schallgeschwindigkeit	c_0	c_1

Beschränkt man die Betrachtung des Verdichtungsstoßes auf ein annähernd ideales Gas, wie z. B. Luft, so ergeben aus der Kenntnis der Zustandsgleichung in Abhängigkeit vom erzielten Verdichtungsverhältnis $\frac{p_1}{p_0}$ folgende Werte für die Temperaturerhöhung, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit D der Stoßwelle und die Materie-Geschwindigkeit W hinter der Wellenfront:

$\frac{p_1}{p_0}$	T_1 °C	D m/s	W m/s
2	63	452	175
5	209	698	452
8	345	875	627
10	432	978	725
20	853	1369	1095

*) Eine eingehende Darstellung gibt *Roth*, Die elementare Ableitung der Strömungsgesetze der Detonation, Explosivstoffe (1958), S. 23 ff.; weitere Literatur am Schluß des Stichworttextes.

d. h. schon bei relativ geringem Verdichtungsgrad liegt die Fortpflanzungsgeschwindigkeit deutlich höher als die Schallgeschwindigkeit (330 m/s); bei höheren Verdichtungszahlen werden Temperaturen erreicht, die auch ohne energie-liefernde Reaktion bereits zu Leuchterscheinungen führen. Besteht das Medium nun aus einem explosiblen Gasgemisch anstelle von Luft, so ist anschaulich klar, daß in der Stoßwellenfront sofort die Explosionsreaktion ausgelöst werden muß.

Jede Explosion muß infolge der Plötzlichkeit der Druckeinwirkung in der umgebenden Luft eine Stoßwelle erzeugen; auf dem Verdichtungsstoß beruht die Fernwirkung von Sprengstoffen, z. B. bei Bombenwürfen. Bei annähernd kugelförmiger Ausbreitung der Stoßwelle nimmt das Druckverhältnis $\frac{p_1}{p_0}$ rasch ab, ebenso die Materiegeschwindigkeit W; sie wird Null, wenn die Stoßwelle in eine normale Schallwelle übergeht. Dem Gedanken der Wirkungsverringerung mit der dritten Potenz der Entfernung bei räumlicher Ausbreitung der von Explosionen ausgehenden Stoßwellen folgend legen das Sprengstoffgesetz von 1976*) und die Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaft der Chemischen Industrie die in Meter berechneten Sicherheitsabstände gemäß

$a = f \cdot M^{1/3}$

a: Abstand in m

M: Explosivstoffmasse in dem betreffenden Gebäude in kg

fest, wobei *f* einen Faktor bedeutet, der dem Sicherheitsbedürfnis angepaßt ist und weitere Beeinflussungsmomente, wie z. B. Bauweisen der Gebäude, berücksichtigt.

Für die Stoßwelle läßt sich eine leichter beherrschbare Theorie aufstellen, wenn man den ebenen Verdichtungsstoß betrachtet, d. h. sich den Vorgang, wie in Abb. 11 gezeichnet, in einem unzerstörbar gedachten Rohr vorstellt. Solche Rohre werden übrigens als „Stoßwellrohre“ als Forschungsinstrument für die Gasdynamik benutzt, sogar für die Festkörper-Physik; als Stoßquellen dienen Explosionen oder Membranen, die man durch Überdruck platzen läßt.

*) *Apel-Keusgen*, Sprengstoffgesetz, Carl Heymanns Verlag Köln.

Aus Vergleichsbetrachtungen im Rohr erhält man aus dem Massevergleich

$$\varrho_0 D = \varrho_1 (D - W) \text{ bzw. } v_1 D = v_0 (D - W) \tag{1}$$

aus dem Impulssatz

$$p_1 - p_0 = \varrho_0 D W \text{ bzw. } v_0 (p_1 - p_0) = D W \tag{2}$$

aus dem Energie-Vergleich

$$p_1 W = \varrho_0 D \left(e_1 - e_2 + \frac{W^2}{2} \right); \tag{3}$$

Hieraus gewinnt man durch Umrechnungen die sog. Hugoniot-Gleichung:

$$e_1 - e_0 = \frac{1}{2} (p_1 + p_0) (v_0 - v_1) \tag{4}$$

Für die Stoßwellengeschwindigkeit D und die Materiegeschwindigkeit W erhält man

$$D = v_0 \sqrt{\frac{p_1 - p_0}{v_0 - v_1}} \tag{5}$$

und

$$W = \sqrt{(p_1 - p_0) (v_0 - v_1)} \tag{6}$$

Diese Beziehungen gelten unabhängig vom Aggregatzustand.

Ist nun das betrachtete Medium explodierbar, so muß durch die extremen Temperatur- und Druckbedingungen im Wellenkopf die explosive chemische Reaktion ausgelöst werden. Der Stoßwellenvorgang wird durch die Energie der Reaktion aufrecht erhalten. Die oben mitgeteilten Gleichungen gelten genauso; nur bedeuten jetzt:

p_1 den Detonationsdruck
ϱ_1 die Dichte der Schwaden in der Stoßwellenfront; sie ist also höher als ϱ_0, die Dichte des Sprengstoffs;
D die Detonationsgeschwindigkeit
W die Schwadengeschwindigkeit.

Gleichung (1) bleibt unverändert.

Die Gleichung (2) kann man, da p_0 verschwindend klein neben dem Detonationsdruck p_1 ist, nunmehr schreiben

$$p_1 = \varrho_0 \cdot D \cdot W \tag{2 d *}$$

*) Die Gleichungen zur Detonationstheorie sind mit der korrespondierenden Gleichungsnummer der Stoßwellentheorie und einem dazugesetzten „d“ gekennzeichnet (d = „Detonation“).

Die anschauliche Aussage dieser Beziehung ist:

Der Detonationsdruck in der Wellenfront ist proportional dem Produkt aus Dichte, Detonationsgeschwindigkeit und Schwadengeschwindigkeit, oder, da die Schwadengeschwindigkeit mit der Detonationsgeschwindigkeit wächst, proportional dem Quadrat der Detonationsgeschwindigkeit. Die Detonationsgeschwindigkeit nimmt ihrerseits beim gleichen Sprengstoff mit der Dichte zu. Gleichung (2 d) macht deutlich, wie stark sich der Detonationsdruck erhöht, wenn die Ausgangsdichte des Explosivstoffs z. B. durch Gieß- oder Preß-Verfahren auf Maximalwerte gebracht werden kann bzw. wenn die Explosivstoffe hohe Dichten aufweisen (z. B. Trinitrotoluol: 1,64; Hexogen: 1,82; Oktogen: 1,96). Sprengtechnisch ist das wichtig, wenn es auf größtmögliche → Brisanz ankommt, während die → Arbeitsleistung weniger davon beeinflußt wird. Die Erkenntnis der Wichtigkeit der maximalen Verdichtung hat sich bei der Entwicklung der → Hohlladungen auf das markanteste bestätigt.

Umgekehrt lassen sich Detonationsdruck und Detonationsgeschwindigkeit durch Verringerung von ϱ_0, d. h. durch Auflockerung der Sprengstoffstruktur, verringern, wenn im weicheren Gebirge eine mehr „schiebende Wirkung“ erwünscht ist (→ weiter unten die Erläuterungen zum Impedanzbegriff).

Eine Abschätzung der Schwadengeschwindigkeit W läßt sich gewinnen, wenn man für den Zustand der Schwaden die sog. Polytropengleichung*) in Ansatz bringt:

$$p = C \cdot n, \tag{11}$$

worin:
p (wie bisher) den Druck,
(wie bisher) die Dichte der Schwaden in der Detonationsfront,
n den „Polytropenexponenten“ und
D eine Konstante bezeichnen.

Aus (11) läßt sich die Beziehung

$$\frac{W}{D} \quad \frac{1}{n + 1} \tag{12}$$

gewinnen. Der Polytropenexponent ist für die meisten Sprengstoffe annähernd 3, für Kohlenstoff-arme bzw. -freie und Stickstoff-reiche Stoffe, insbesondere für Nitroguanidin und für Hydrazinnitrat ist n etwa 4.

*) Eine eingehende Darlegung der Theorien über den Schwadenzustand fester bzw. flüssiger Sprengstoffe gibt *H. Hornberg*: The State of the Detonation Products of Solid Explosives, Propellants and Explosives **3**, S. 97–106 (1978).

Die oben betrachtete Beziehung (2) läßt sich umrechnen in

$$p_1 - p_0 = (v_0 - v_1)\, \varrho_0^2 D^2 \qquad (7\,\mathrm{d})$$

und stellt im Druck-Volumen-Diagramm eine Gerade der Neigung $-\varrho_0^2 D^2$ dar; sie wird Rayleigh-Gerade genannt. Die Hugoniot-Gleichung (4) wird für den die chemische Umsetzungsenergie q mitführenden Detonationsvorgang:

$$e_1 - e_0 = \frac{1}{2}(p_1 + p_0)(v_0 - v_1) + q \qquad (4\,\mathrm{d})$$

Die Gleichungen (5) und (6) bleiben unverändert, jedoch bedeuten nunmehr:

D die *Detonationsgeschwindigkeit*
W die *Schwadengeschwindigkeit*.

Für den Detonationsvorgang zeigen die Hugoniot-Kurve und die Rayleigh-Gerade im *pv*-Diagramm folgende Lage:

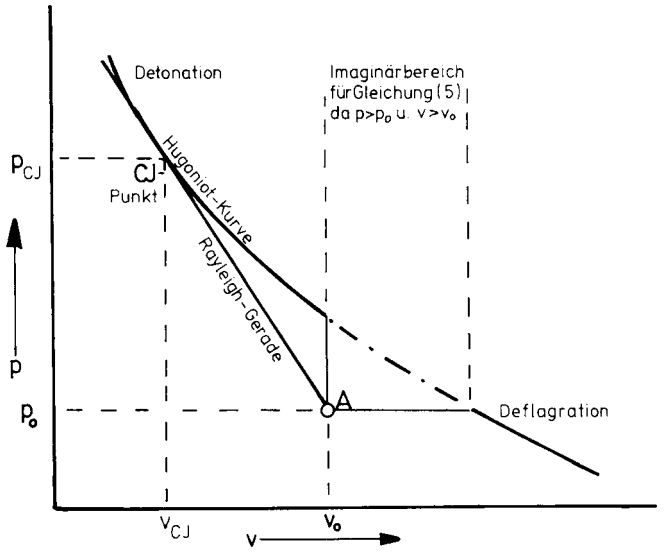


Abb. 12. Hugoniotkurve und Rayleigh-Gerade im Zustandsdiagramm

Bedingt durch die Größe q in Gleichung (4 d) – für die Stoßwelle entfällt der Wert – liegt der Ausgangspunkt A *unterhalb* der Hugoniot-Kurve; die von ihm ausgehenden *p*- und *v*-Linien schneiden aus der Kurve einen Bereich heraus, für den *D* [siehe Gleichung (5)] imaginär wird, d. h. einen Faktor $\sqrt{-1}$ erhält. Die Kurve enthält nunmehr zwei

getrennte Abschnitte, von denen die im höheren Druckgebiet liegende die *Detonation* und die im tieferen Druckgebiet liegende die → *Deflagration* beschreibt. Die Rayleigh-Gerade tangiert im „Chapman-Jouguet-Punkt“*) (abgekürzt: CJ-Punkt; alle dem „CJ-Zustand“ zugeordneten Zustandsgrößen erhalten den CJ-Index) die Hugoniot-Kurve; die dort zuzuordnenden Kennwerte beschreiben die „stabile Detonation“; sie vermag – im Gegensatz zur Stoßwelle – durch das Medium stationär, d. h. mit konstanter Intensität und konstanter Geschwindigkeit zu verlaufen. Dort gilt ferner

$$D_{CJ} = W_{CJ} + C_{CJ}, \tag{8d}$$

d. h. die Detonationsgeschwindigkeit ist gleich der Summe aus Schwadengeschwindigkeit und Schallgeschwindigkeit.

Alle Gleichungen enthalten keine Annahmen über die → Zustandsgleichung des Medium; sie gelten unabhängig vom Aggregatzustand. Sie geben keinen Wert für die Dicke der Reaktionszone an; mathematisch gelten die Übergänge von v_0 und p_0 in v_1 und p_1 sogar als unstetig; in Wirklichkeit beträgt die Dicke der Detonationswelle etwa 1 mm und ergibt sich durch hier nicht betrachtete Einflüsse von Reibung und Wärmestrahlung. Der Imaginärbereich der Hugoniotkurve besagt: es gibt keine stetigen Übergänge zwischen Detonation und Deflagration. Praktisch können die genannten Vorgänge jedoch „umklappen“; Deflagrationen im Bohrloch werden vom Bergmann als „Auskocher“ bezeichnet; Abbrände in Raketensätzen, die ja programmierte Deflagrationen darstellen, gehen in Detonation über, wenn Gefügerisse oder Fehlstellen in der Wandhaftung irreguläre Brennflächen entstehen lassen und der Brenndruck zu groß wird. *Roth***) hat am Beispiel des → Nitroglykols beide Umsetzungen verglichen. Nachfolgend werden die Umsetzungsleistung bei der Deflagration und Detonation von Nitroglykol (Dichte $\varrho_0 = 1{,}5 \cdot 10^3$ kg/m^3***) gegenübergestellt.

---

*) *Chapman* und *Jouguet* gehörten zu den Pionieren auf dem Gebiet der Stoßwellen-Theorie.

**) J. F. *Roth*, Stichwort „Sprengstoffe“ in Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie, 3. Auflage (1965), Bd. 16, S. 58.

***) Die gegenüber der bisherigen Üblichkeit abweichende Dimensionierung in Kilogramm pro Kubikmeter ergibt sich durch konsequente Anwendung des „MKS“-Maßsystems anstelle des bisherigen „CGS“-Systems. Grundeinheiten sind nunmehr: Meter, Kilogramm (Masse), Sekunde, Ampère, Kelvin (K) und Candela; dagegen werden Kraft, Gewicht, Druck usw. abgeleitete Größen. Umrechungstabellen → Vorsatzpapier im hinteren Bucheinband.

	Deflagration	Detonation
Fortpflanzungsgeschwindigkeit D	$3 \cdot 10^{-4}$ m/s	$7{,}3 \cdot 10^{3}$ m/s
Massen-Umsatz $m = \varrho_0 D$	$4{,}5 \cdot 10^{-1}$ kg/m^{2}s	$11 \cdot 10^{6}$ kg/m^{2}s
Umsetzungsenergie q je kg	460 kcal = $1{,}93 \cdot 10^{3}$ kJ	1600 kcal = $6{,}7 \cdot 10^{3}$ kJ
Umsetzungsleistung	$2{,}1 \cdot 10^{2}$ kcal/m^{2}s	$1{,}8 \cdot 10^{10}$ kcal/m^{2}s
Verhältnis der Umsatzleistungen	1 :	rund 10^{8}
Breite der Umsetzungszone b	$1 : 10^{-2}$ m	$1 \cdot 10^{-3}$ m
energetische Belastung der Umsetzungszone $m \cdot q/b$	$7{,}5 \cdot 10^{7}$ kcal/m^{3}h	$6{,}6 \cdot 10^{16}$ kcal/m^{3}h

Gegenüber dem Wert von $6{,}6 \cdot 10^{16}$ kcal/m^{3}h für die energetische Belastung beträgt der in der chemischen Reaktor-Technik maximal erreichbare Wert „nur“ etwa 10^{9} kcal/m^{3}h.

Man hat das Produkt aus Detonationsgeschwindigkeit und Dichte (es stellt den Massendurchsatz dar) unter der Bezeichnung „Impedanz“*) in die detonations-physikalische Betrachtung eingeführt; die Größe hat die Dimension eines Massenfluß-Widerstands und gibt wieder, daß jede Detonationsreaktion um so schwieriger durch das detonierbare Medium hindurchzuzwingen ist, je höher es verdichtet (z. B. gepreßt oder gegossen) wurde. Dieser Effekt ist den Sprengstoffpraktikern bekannt: hochprozentige gelatinöse Nitroglyzerin-Sprengstoffe verlieren ganz erheblich an ihrer Sensibilität und Detonierbarkeit, wenn sie bei längerer Lagerung an feinverteiltem Luftgehalt von der Fertigung her verlieren und dadurch an Dichte zunehmen.

Literatur:

Riemann, B.: Abh. Ges. Wiss. Göttingen, Math. Phys. Kl. 8, 43 (1860).
Rankine, W. J.: Trans. Roy. Soc. (London) 160, 277–288 (1870)
Hugoniot, H.: Journal de l’école polytechnique (Paris) 58, 1–125 (1889)
Becker, R.: Z. Phys. 8, 321–362 (1922)
Jouquet, E.: Proc. Int. Congr. Appl. Mech. 1926, 12–22
Bolle, E.: Explosion und Explosionswellen, in: Auerbach und Hort: Handbuch der physikalischen und technischen Mechanik, Leipzig 1928
Schmidt, A.: Z. ges. Schieß- und Sprengstoffw. 27, 145–149, 184–188; 225–228; 264–267; 299–302 (1932) und 33, 280–283; 312–315 (1938)
Bechert, K.: Ann. Phys. (5) 37, 89–123 (1940); (5) 38, 1–25 (1940); (5) 39, 169–202 (1941); (5) 39, 357–372 (1941)
Courant, R. und *Friedrich K. O.:* Supersonic Flow and Shock Waves, Interscience Publ. Inc., New York 1948
Wecken, F. und *Mücke, L.:* Rapport 8/50, Deutsch-Franz. Forschungsinstitut St. Louis 1950

*) „SPRENGTECHNIK – Begriffe, Einheiten, Formelzeichen“, DIN 20163 (1985), Beuth-Vertrieb GmbH *J. F. Roth*: Explosivstoffe (1958), S. 26.

Bowden, F. P. und *Yoffe, A. D.:* Initiation and Growth of Explosions in Liquids and Solids, Cambridge University Press. Cambridge 1952

Taylor, J.: Detonation in Condensed Explosives, Clarendon Press, Oxford 1952

Cook, M. A.: The Science of High Explosives, Reinhold, New York 1958

Roth, J. F.: Explosivstoffe 23–31; 45–54 (1958)

Zeldovich, J. B. und *Kompaneets, A. S.:* Theory of Detonation, Academic Press, New York und London 1960

Cachia, G. P. und *Withebread, E. G.:* The Initiation of Explosives by Shock, Proc. Roy. Soc. A 246, 268–273 (1958). Card-Gap Test for Shock Sensitivity of Liquid Monopropellant, Test Nr. 1, Recommended by the JANAF Panel on Liquid Monopropellant Test Methods, March 1960

Amster, A. B., Noonan, E. C. und *Bryan, G. J.:* Solid Propellant Detonability, ARS-Journal 30, 960–964 (1960)

Price, D. und *Jaffe, J.:* Large Scale Gap Test: Interpretation of Results for Propellants, ARS-Journal 31, 595–599 (1961)

Wagner, H. Gg.: Gaseous Detonations and the Structure of a Detonation Zone (in: Fundamental Data obtained from Shock Tube Experiments, Editor: Ferri, A.). Pergamon Press, Oxford 1961

Cook, M. A., Keyes, R. T. und *Ursenbach, W. O.:* Measurements of Detonation Pressure, J. Appl. Phys. 33, 3414–3421 (1962)

Berger, J. und *Viard, J.:* Physique des explosifs solides, Dunod, Paris 1962

Dinegar, R. H., Rochester, R. H. und *Millican, M. S.:* The Effect of Specific Surface on Explosion Time of Shock Initiated PETN, Am. Chem. Soc., Div. Fuel Chem. 7 (Nr. 3), 17–27 (1963)

Andrejev, K. K. und *Beljajev, A. F.:* Theorie der Explosivstoffe, Svenska National Kommitee för Mechanik, Stockholm 1964 (deutsche Übersetzung)

Rempel, H. G.: Determination of Speeds of Shock Waves Necessary to Trigger Detonation of Explosives, in: *Andrejev, K. K.* et al. Theory of Explosives (Original russisch, Moskau 1963), Engl. Übers.: Foreign Techn. Div., Wright Patterson Air Force Base, Ohio (Clearinghouse) 1964

Roth, J. F.: Torpedierungssprengungen in großen Tiefen. Prüfung der Sprengstoffe und Zündmittel unter entsprechenden Bedingungen, Nobel Hefte 31, 77–101 (1965)

Mills, E. J.: Hugoniot Equations of State for Plastics: a Comparison, AIAA-Journal 3, 742–743 (1965)

Zeldovich, J. B. und *Raizer, J.:* Physics of Shock Waves and High-Temperature Hydrodynamic Phenomena, Academic Press, New York, London (1966/1967; 2 Bde.)

Price, D., Jaffe, J. und *Robertson, G. E.: Shock Sensitivity of Solid Explosives and Propellants, XXXVI. Int. Kongreß f. Industrielle Chemie, Brüssel 1966Lee, J. H., Knystautas, R.* und *Bach, G. G.:* Theory of Explosion, McGill University Press, Montreal 1969

Kamlet, M. J. und *Jacobs, S. J.:* Chemistry of Detonations, a Simple Method for Calculating Detonation Properties of CHNO-Explosives, Journal of Chem. Phys. 48, 23–50 (1968)

Tiggelen, A. van.: Oxydations et Combustions, Tome I + II, Publications de l'Institut Français du Petrole, Paris 1968

Johansson, C. H. und *Persson, P. A.:* Detonics of High Explosives, Academic Press, London und New York 1970

Hornberg, H.: The State of the Detonation Products of Solid Explosives, Propellants Explos. 3, 97–106 (1978)

Fickett, W. und *Davis, W. C.:* Detonation, University of California Press, Berkeley 1979

Mader, Ch.: Numerical Modeling of Detonations, University of California Press, Berkeley 1979

LASL Explosive Property Data. Hrsg.: Gibbs, T. R., Popolato, A., University of California Press, Berkeley, California 1980

LASL Phermex Data, Vol. 1–3. Hrsg.: *Mader, Ch. L.*, University of California Press, Berkeley, California 1980

LASL Shock Hugoniot Data, Hrsg.: *Marchs, St. P.*, University of California Press, Berkeley, California 1980

Los Alamos Explosives Performance Data. Hrsg.: Mader, Ch. L., Johnson, J. N., Crane Sh. L., University of California Press, Berkeley, California 1982

Los Alamos Shock Wave Profil Data. Hrsg.: *Morris, Ch. E.*, University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London 1982

Shock Waves, Explosions and Detonations, Hrsg.: *Bowen, J. R., Manson, N., Oppenheim, A. K.* und *Soloukhin, R. I.*, AIAA, New York 1983 (Progress in Astronautics and Aeronautics, Vol. 87)

Dynamics of Shock Waves, Explosions and Detonations, Hrsg.: *Bowen, J. R., Manson, N., Oppenheim, A. K.* und *Soloukhin, R. I.*, AIAA, New York 1984 (Progress in Astronautics and Aeronautics, Vol. 94)

Kinney, G. F. und *Kenneth, J. G.:* Explosive Shocks in Air, 2. Aufl., Springer, Berlin, Heidelberg, New York 1985

Dynamics of Explosions, Hrsg.: *Bowen, J. R., Leyer, J. C.* und *Soloukhin, R. I.*, AIAA, New York 1986 (Progress in Astronautics and Aeronautics, Vol. 106)

Dynamics of Explosions, Hrsg.: *Kuhl, A. L., Bowen, J. R., Leyer, J. C.* und *Borisov, A.*, AIAA, Washington 1988 (Progress in Astronautics and Aeronautics, Vol. 114)

Cheret, R.: La détonation des explosifs condensés, Teil 1 und 2, Masson, Paris 1988/89

Medard, L.: Accidental Explosions, Vol. 1: Physical and Chemical Properties, Vol. 2: Types of Explosive Substances, Ellis Horwood Ltd., Chichester 1989 (engl. Übers.)

Selektive Detonation

Die von *H. Ahrens* beschriebene Selektivität im Detonationsablauf tritt dann auf, wenn an der durch die Stoßwelle angeregten intensiven chemischen Reaktion (→ Detonation) Vorgänge sehr verschiedener Empfindlichkeit und damit sehr verschieden langer Induktionsperiode beteiligt sind. Ist die Intensität der Stoßwelle infolge äußerer Umstände, wie z. B. fehlenden Einschlusses, sehr gering, kann die Induktionsperiode für die unempfindlichere Reaktion unendlich werden, d. h. diese findet nicht mehr statt.

Technische Bedeutung hat die beschriebene Selektivität bei den Salzpaar-Wettersprengstoffen (→ Wettersprengstoffe). Ihr Anteil an Sprengöl ist so gewählt, daß er noch gerade eine Detonation gewährleisten würde, wenn er in einem inerten Salzbett verteilt wäre. Die unempfindliche Reaktion im Sinne der obigen Darlegung ist die Salzpaarumsetzung selbst:

$NaNO_3$ (bzw. KNO_3) + NH_4Cl = NaCl = NaCl (bzw. KCl) + N_2 +
+ 2 H_2O + 1/2 O_2

Sie findet nur statt, wenn der Detonationsvorgang durch Einschluß begünstigt abläuft; sonst verhält sich das Salzpaargemisch wie inertes Salz. Wird der Sprengstoff also ohne Einschluß abgetan (wie bei der Kantenmörser-Prüfung, oder nach Wegriß des Einschlusses durch den vorhergehenden Schuß in der Kohle), so findet nur die schnelle, über den Mengenanteil begrenzte und daher zündungsgefährliche Sprengölumsetzung statt; wird der Sprengstoff im unverletzten Bohrloch abgetan, läuft die Salzpaar-Umsetzung mit, und der Sprengstoff vermag sein Arbeitsvermögen zu entfalten.

Detonationsgeschwindigkeit

detonation rate; vitesse de détonation

ist die Geschwindigkeit, mit welcher die Detonation in einem Sprengstoff fortschreitet; sie ist bei maximaler Dichte und in einer Ladesäule wesentlich oberhalb des „kritischen Durchmessers" für jeden Sprengstoff eine charakteristische Konstante, die durch andere Umstände nicht beeinflußt wird. Sie nimmt mit abnehmender Ladedichte ab. Sie wird mit Kurzzeitmessern (mit elektronischen Dekadenzählern, früher mit Funkenchronographen oder einem optischen Chronographen) oder nach dem Verfahren von *Dautriche* gemessen.

Die gelatinösen Nitroglycerin- und Nitroglykol-Sprengstoffe weisen ohne und mit Einschluß sehr auseinanderliegende Werte auf, die daher auch als „untere" und „obere" Detonationsgeschwindigkeit bezeichnet werden. Die im Stahlrohr gemessene Geschwindigkeit wird im Bohrloch selbst nicht erreicht, sie liegt dort etwa bei 3500 m/s. Pulverförmige Sprengstoffe zeigen im Bohrloch Werte von etwa 3700 m/s.

Sensibilisierte seismische Spezialsprengstoffe (→ Geosit; → Seismogelit) detonieren mit und ohne Einschluß schon nach Zündung mit einer Aluminium-Sprengkapsel Nr. 8 mit der „oberen" Detonationsgeschwindigkeit. Bei schwächerer Zündung kann allerdings auch die untere Detonationsgeschwindigkeit eintreten.

Detonationsübertragung

sympathetic detonation; détonation par influence

Eine detonierende Sprengstoffpatrone vermag eine benachbarte Patrone zur Detonation mit anzuregen; bei ausreichend empfindlichen Sprengstoffen geschieht dies über eine Entfernung von mehreren Zentimetern hinweg. Wird die Übertragung der Sprengstoffe im metal-

lischen Einschluß – z. B. in einem Eisenrohr – geprüft, kann die Übertragungsweite bis zu 1 m und mehr betragen. Die zur Zeit in Deutschland übliche Methode zur Bestimmung der Detonationsübertragung besteht darin, daß 2 Patronen gleicher Art axial ausgerichtet mit einem Zwischenraum auf eine Sandbettung gelegt werden. Nun wird diejenige Entfernung ermittelt, bei der eben noch eine Übertragung stattfindet. Die erzielten Entfernungen sind u. a. auch vom Durchmesser der Patrone abhängig.

Im englischen Sprachgebrauch wird das Übertragungsverhalten als „gap"-Test bezeichnet.

Die Ausführungsbestimmungen zum deutschen Sprengstoffgesetz*) geben zur Prüfung von brisanten Gesteinsprengstoffen folgende Vorschrift:

1. Vier Patronen des kleinsten für die Anwendung vorgesehenen Durchmessers und der geringsten Länge sind freihängend ohne Einschluß in Längsrichtung dicht hintereinander anzuordnen. Die erste Patrone ist mit einem Prüfzünder PETN 0,25 g zu zünden. Diese Prüfung ist zweimal durchzuführen. Bei allen Prüfungen müssen die Patronen vollständig detonieren. Auf Antrag können für die Prüfung Patronen mit geringerem Durchmesser und geringerer Länge verwendet werden. Bei Patronen mit einem Durchmesser kleiner als 30 mm, die die vorstehende Prüfung nicht erfüllen, ist die Prüfung auf dem Sandbett zu wiederholen.
2. Je zwei Patronen von 30 mm Durchmesser und höchstens 15 cm Länge in handelsüblicher Patronierung sind in Abständen, entsprechend der am Ende dieser Nummer angegebenen Abstufungsreihe, koaxial an einen Draht von 4 mm Durchmesser zu binden. Diese Anordnung ist so aufzuhängen, daß sie in jeder Richtung mindestens 50 cm freien Abstand hat. Die eine Patrone ist durch einen an dem der zweiten Patrone abgewandten Ende befindlichen 12 mm tief eingeführten Prüfzünder PETN 0,6 g zur Detonation zu bringen. Sofern die Patronen verschieden fest gefüllte Enden haben, hat das festere Ende der einen Patrone auf das weniger feste Ende der anderen Patrone einzuwirken. Die Versuchstemperatur, insbesondere die Temperatur der Patronen, muß zwischen 10 und 30 °C liegen. Durch Variation der Abstände ist der größte Abstand der drei Übertragungen bei insgesamt drei Versuchen ergibt, und der kleinste Abstand, der drei Nichtübertragungen bei insgesamt drei Versuchen ergibt, zu ermitteln. Der Mittelwert der beiden Abstände muß mindestens 2 cm betragen. Die Abstufung der Abstände ist wie folgt vorzunehmen: von Null bis 9 cm je 1 cm, von 10

*) *Apel-Keusgen*, Sprengstoffgesetz, Carl Heymanns Verlag, Köln (laufend ergänzte Lieferungen).

bis 20 cm je 2 cm, darüber je 5 cm. Auf Antrag kann für die Prüfung ein geringerer Durchmesser als 30 mm verwendet werden.

3. Brisante Gesteinssprengstoffe, die die Anforderungen des Absatzes 5 Nr. 1 oder 2 nicht erfüllen oder nicht entsprechend geprüft werden können, sind wie folgt zu prüfen:

   a) Ein nahtloses, an einem Ende durch eine Polyäthylenfolie verschlossenes Stahlrohr von 35 mm Innendurchmesser, 3,5 mm Wandstärke und 150 oder 300 mm Länge ist mit dem zu prüfenden Sprengstoff unter Einhaltung seiner Gebrauchsdichte ohne Patronenumhüllung zu füllen und zentrisch auf eine Stahlplatte mit einer Abmessung von 140 mm × 140 mm zu stellen. Die Platte muß durch einen Stahlring von 100 mm innerem und 108 mm äußerem Durchmesser sowie 60 mm Höhe auf eine ebene Stahlunterlage mit einer Abmessung von mindestens 300 mm × 300 mm × 8 mm abgestützt sein. Am oberen Ende der Ladung ist mit einer Eintauchtiefe von 12 mm ein Prüfzünder PETN 0,25 anzubringen.

→ Wettersprengstoffe werden in Deutschland außerdem im Kohle-Zement-Rohr auf Übertragung geprüft; dies sind mit axialer Bohrung versehene Zylinder aus einer abgebundenen Mischung von Zement mit Kohlenstaub in den Mischungsverhältnissen 1 : 2 und 1 : 20.

Bei den bisher berichteten Untersuchungen bestanden Geber- und Empfänger-Patrone aus dem gleichen Sprengstoff. Die Übertragung bei einer genormten Geber-Patrone (z. B. einem Hexogen-Preßkörper) durch ein Brems-Medium verschiedener Dicke hindurch kann darüber hinaus ein Mittel zur Bestimmung der Empfindlichkeit der verschiedenen Explosivstoffe verwendet werden. In USA begann man damit, Spielkarten-Blätter zwischen Geber- und Empfänger-Patrone zu legen. In einer weiteren Verfeinerung der Methode gelingt es, das Brems-Medium so zu wählen, daß nur die Stoßwelle, nicht aber die Wärme-Übertragung als auslösendes Moment an der Empfängerpatrone verbleibt („shock-pass-heat-filter“). Abb. 13 zeigt eine solche Anordnung:

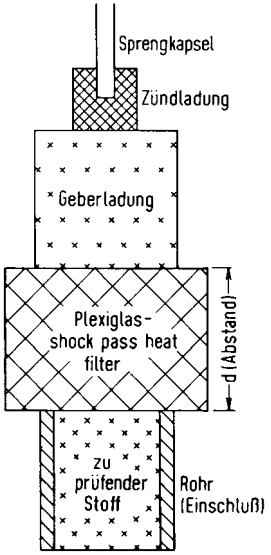


Abb. 13. Gap Test

Es ist üblich geworden, als Resultat solcher Tests den Stoßwellendruck anzugeben, der nach Durchlaufen der Plexiglas-Dicke d gerade noch Detonation auslöst; *Held*)* gibt für eine Tetryl-Geberladung von 50 mm Länge und 50 mm ⌀ die Formel an

$p = 105\ e^{0{,}0358\ d}$

p in kbar, d in mm

*Trimborn***) hat eine besonders einfache Methode mit Wasser als Übertragungsmedium beschrieben:

---

*) *M. Held*, Initiierung von Sprengstoffen, ein vielschichtiges Problem der Detonationsphysik, Explosivstoffe **16**, 98–113, (1968) und *J. Jaffe, R. Beaugard* und *Amster.* Determination of the Shock Pressure Required to Initiate Detonation of an Acceptor in the Shock Sensitivity Test – ARS Journal **32**, 22–25 (1962).

) *F. Trimborn*, Explosivstoffe **15, 169–175 (1967).

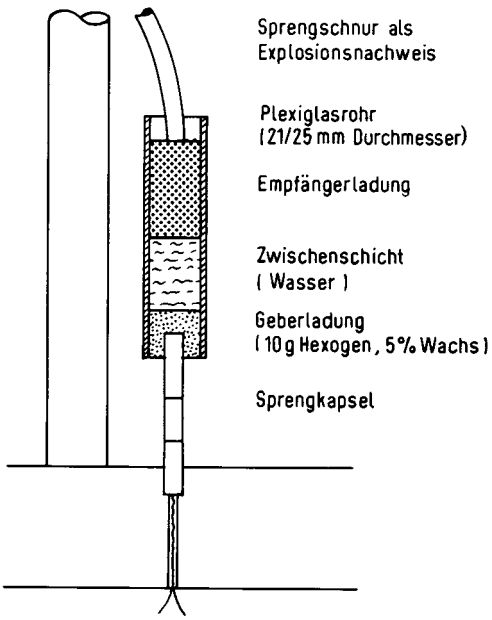


Abb. 14. Gap-Test nach *Trimborn*

Die Übertragungsprüfung ist mit Rücksicht auf das flüssige Bremsmedium von unten nach oben angeordnet. In eine Grundplatte aus Stahl ist eine Bohrung zur Aufnahme eines Brückenzünders und eine Nut für die Zündleitung eingelassen. Ferner trägt sie eine Stahlstange zur Befestigung einer Sprengschnur, die in Verbindung mit einer Bleiplatte als Explosionsnachweis für die Empfängerladung benutzt wird.

Die Geberladung aus Hexogen mit 5 % Wachs wird in ein Plexiglasrohr mit der Kapselaufnahme nach unten eingeklebt und mit Wasser überschichtet, dessen Schichtdicke leicht schrittweise veränderbar ist; die Empfängerladung schließt sich nach oben im gleichen Plexiglasrohr an und endet mit der erwähnten Sprengschnur. Einige Ergebnisse:

Tabelle 3. Gap-Test-Ergebnisse.

Explosivstoffe	Zustand	Dichte g/cm³	k. Expl. mm Wasserhöhe	teilw. Expl. mm Wasserhöhe	regelm. Expl. mm Wasserhöhe	Initiierungsdruck für ca. 50 % Explosion	
						eigene Messungen kbar	Werte aus der Literatur kbar
Comp. B	gegossen	1.68	18	17	16	17	17 bis 30
Hexogen, 5 % Wachs	gepreßt	1.63	22	21	20	12	18
Hexyl	gepreßt	1.50	20	—	19	14	
Nitropenta, 7 % Wachs	gepreßt	1.60	29	28	27	7	
Pentolit 50/50	gegossen	1.65	23	22, 21	20	12	5 bis 6 ca. 15
Pikrinsäure	gepreßt	1.58	17	16	15	18	
Tetryl	gepreßt	1.53	24	—	23	10	10 ca. 12
TNT	gepreßt	1.53	22	21	20	12	
TNT	gegossen	1.58	7	6	5	38	37
TNT	gegossen	1.61	6	5, 4, 3	2	43	32 bis 42

Danach stehen die aus den Messungen errechneten Initiierungsdrucke in guter Übereinstimmung mit den Werten, die mit anderen Anordnungen erhalten wurden.

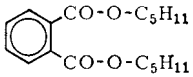
Detonationswärme

heat of detonation; chaleur de détonation

Die bei der Detonation eines Sprengstoffs freiwerdende Wärme aus den thermochemischen Daten des Sprengstoffs und der Schwadenprodukte allein nicht berechenbar (→ Explosionswärme; → thermodynamische Berechnung der Umsetzung von Explosivstoffen), da unter CJ-Bedingungen (→ oben) die Umsetzung zu den Schwaden etwas anders sein kann; sie wird außerdem auch durch die Dichte des Sprengstoffs beeinflußt. Berechnungsmöglichkeiten bestehen aus der Detonations-Theorie. Experimentelle Daten wurden in den USA in einem „Detonationskalorimeter“ ermittelt*), welches bei genügender Größe und ausreichender Wandstärke der Sprengkammer die Vornahme von Detonationen ermöglichte; dabei wurde die oben erwähnte Beeinflussung durch die Dichte des Sprengstoffs festgestellt.

Diamylphthalat

diamyl phthalate; phtalate diamylique



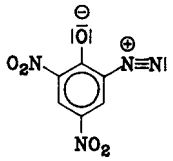
Bruttoformel: $C_{18}H_{26}O_4$
Mol.-Gew.: 306,4
Bildungsenergie: −692,0 kcal/kg = −2897,1 kJ/kg
Bildungsenthalpie: −720,7 kcal/kg = −3018,5 kJ/kg
Sauerstoffwert: −235,0 %

Diamylphthalat dient als gelatinierender Zusatz zu Schießpulvern und zu deren → Oberflächenbehandlung.

*) *D. L. Ornellas*, The Heat and Products of Detonation in a Calorimeter of CNO, HNO, CHNF, CHNO, CHNOF, and CHNOSi Explosives, Combustion and Flame **23**, 37–46 (1974).

Diazodinitrophenol

diazodinitrophenol; diazodinitrophénol; Dinol; Diazol; D.D.N.P.



gelblich bis rotgelbes amorphes Pulver
Bruttoformel: $C_6H_2N_4O_5$
Mol.-Gew.: 210,1
Bildungsenergie: +236,3 kcal/kg = +989,5 kJ/kg
Bildungsenthalpie: +220,8 kcal/kg = +924,6 kJ/kg
Sauerstoffwert: –60,9 %
Stickstoffgehalt: 26,67 %
Normalgasvolumen: 859 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 955,1 kcal/kg = 3998,8 kJ/kg
(H_2O gas): 947,6 kcal/kg = 3967,5 kJ/kg
Spezif. Energie: 107,0 mt/kg = 1047,9 kJ/kg
Dichte: 1,63 g/cm^3
Bleiblockausbauchung: 326 cm^3
Detonationsgeschwindigkeit:
6600 m/s bei ϱ = 1,5 g/cm^3
Verpuffungspunkt: 180–200 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,15 kp m = 1,5 Nm

Wenig löslich in Wasser, etwas löslich in Methanol und Alkohol, löslich in Aceton, Nitroglycerin, Nitrobenzol, Anilin, Pyridin und Essigsäure.

Diazodinitrophenol dunkelt im Sonnenlicht schnell.
Die Verbindung wird hergestellt durch Diazotierung von Pikraminsäure mit Natriumnitrit in salzsaurer Lösung bei guter Kühlung, Reinigung, des anfallenden dunkelbraunen Produktes durch Auflösen in heißem Aceton und Ausfällen mit Eiswasser.

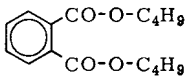
Die Diazoverbindung findet Verwendung als Initialsprengstoff in den USA. Sie ist kräftiger als Knallquecksilber und etwas schwächer als Bleiazid.

Literatur:

Lowe-Ma, Ch., Robin, A. N. und William, S. W.: Diazophenols-Their Structure and Explosive Properties, Naval Weapons Center, China Lake, CA 9355 – 6001; Rept.-Nr.: WC TP 6810 (1987).

Dibutylphthalat

dibutyl phthalate; phtalate dibutylique; Phthalsäuredibutylester



farblose Flüssigkeit
Bruttoformel: $C_{16}H_{22}O_4$
Mol.-Gew.: 278,4
Bildungsenergie: −695,9 kcal/kg = −2913,6 kJ/kg
Bildungsenthalpie: −723,6 kcal/kg = −3029,4 kJ/kg
Sauerstoffwert: −224,19 %
Dichte: 1,045 g/cm^3
Kp. (bei 20 mm Hg): 205−210 °C
Flammpunkt: 170 °C

Dibutylphthalat ist in Wasser unlöslich, in den üblichen organischen Lösemitteln gut löslich.

Technische Reinheitsanforderungen

Reingehalt (aus Verseifungsbestimmung) nicht unter	99 %
Aschegehalt: nicht über	0,02 %
Dichte:	1,044–1,054 g/cm^3
Reaktion in alkoholischer Lösung gegen Phenolphthalein:	neutral

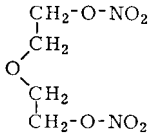
Dichte

density; densité

→ Ladedichte

Diglykoldinitrat

diethylene glycol dinitrate; dinitrate de diéthylèneglycol; Diethylenglykoldinitrat; Dinitrodiglykol; DEGN



farblose, geruchlose Flüssigkeit
Bruttoformel: $C_4H_8N_2O_7$
Mol.-Gew.: 196,1

Bildungsenergie: –481,2 kcal/kg = –2014,6 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –506,8 kcal/kg = –2122,0 kJ/kg
Sauerstoffwert: –40,8 %
Stickstoffgehalt: 14,29 %
Normalgasvolumen: 1030 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1114 kcal/kg = 4666 kJ/kg
(H_2O gas): 1014 kcal/kg = 4245 kJ/kg
Spezif. Energie: 122,4 mt/kg = 1201 kJ/kg

Dampfdruck:

Millibar	Temperatur °C
0.0048	20
0.17	60

Dichte: 1,3846 g/cm^3 (20/4)
Brechungsindex: n_{25}^{D} = 1,4498
Kp.: 139 °C (bei 7 mm)
F.: +3 °C (stabile Form)
–10,4 °C (labile Form)
Bleiblockausbauchung: 410 cm^3
Detonationsgeschwindigkeit: 6600 m/s bei
ϱ = 1,38 g/cm^3
Verpuffungspunkt: 190 °C
Schlagempfindlichkeit 0,02 kpm = 0,2 Nm
Reibempfindlichkeit: bis 36 kp = 353 N Stiftbelastung
keine Reaktion

Bei gewöhnlicher Temperatur mischbar mit Nitroglycerin, Nitroglykol, Ether, Aceton, Methylalkohol, Chloroform und Benzol, nicht mischbar bzw. schlecht löslich in Ethylalkohol und Tetrachlorkohlenstoff. Wenig hygroskopisch und wenig löslich in Wasser, jedoch mehr als Nitroglycerin.

Seine Dämpfe verursachen Kopfschmerz, aber weniger als die von Nitroglykol.

Das Diglykoldinitrat wird wie Nitroglycerin durch Nitrieren von Diethylenglykol mit Mischsäure diskontinuierlich oder kontinuierlich hergestellt. Diglykol wird synthetisch gewonnen. Die relative Instabilität der Abfallsäure bedingt besondere Mischsäurerezepturen und sofortige Denitrierung der Abfallsäure nach Beendigung der Nitrieroperation.

Diglykoldinitrat wurde während des Zweiten Weltkrieges von deutscher Seite in großem Umfang als Grundbestandteil zweibasiger Pulver (→ Schießpulver) verwendet. Die Diglykolpulver können in ihrem Kaloriengehalt niedriger gehalten werden als vergleichbare Nitroglyce-

rinpulver; sie stellten einen ersten Schritt zu sogenannten „kalten“ Pulvern dar. Das Diglykoldinitrat und auch das Triglykoldinitrat werden auch als Raketentreibsätze eingesetzt.

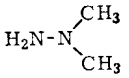
Technische Reinheitsforderungen für Diglykol als Vorprodukt

Aussehen:	klar, farblos
Dichte (20/4):	1,1157–1,1165 g/cm^3
Siedeanalyse:	241 – 250 °C
Feuchtigkeit: nicht über	0,5 %
Glührückstand: nicht über	0,02 %
Säure als H_2SO_4: nicht über	0,01 %
Chloride:	nur Spuren
Verseifungszahl: nicht über	0,02 %
reduzierende Bestandteile (Test mit $AgNO_3$ in NH_3-Lsg.):	0
Viskosität bei 20 °C:	35,7 cp
Monoglykolgehalt: nicht über	2 %

(Bestimmung: 4 ml Diglykol und 4 ml Lösung von 370 g NaOH/Liter werden gemischt und abgekühlt, 2 ml $CuSO_4$-Lösung (200 g $CuSO_4 \cdot 5\ H_2O$/Liter) zugegeben und geschüttelt. Bestimmung durch kolorimetrischen Vergleich mit Diglykol-Glykol-Standard-Mischungen bei gleicher Prozedur, die 0,5; 1,5 und 2 % Glykol enthalten.)

Dimethylhydrazin

dimethylhydrazine; diméthylhydrazine; UDMH



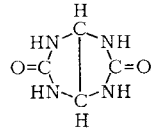
farblose Flüssigkeit
Bruttoformel: $C_2H_8N_2$
Mol.-Gew.: 60,10
Sauerstoffwert: –213,0 %
Bildungsenergie: +247,3 kcal/kg = +1035,3 kJ/kg
Bildungsenthalpie: +198,0 kcal/kg = +829,0 kJ/kg

Dimethylhydrazin dient für Flüssig-Raketen-Antriebe (→ Aerozin).

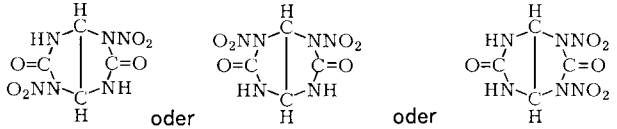
Dingu und Sorguyl*)

dinitroglycolurile und *tetranitroglycolurile; glycolurile dinitramine* et *glycolurile tétranitramine*

Die Reaktion zwischen Glyoxal $O=CH-CH=O$ und Harnstoff $H_2N-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-NH_2$ ergibt Glykoluril mit der Strukturformel



Die Dinitrierung ergibt „Dingu“:

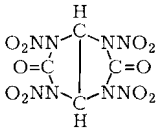


farblose Kristalle
Bruttoformel: $C_4H_4N_6O_6$
Molekulargewicht: 232,1
Sauerstoffwert: −27,6 %
Stickstoffgehalt: 36,21 %
Normalgasvolumen: 869 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 730 kcal/kg = 3055 kJ/kg
(H_2O gas): 689 kcal/kg = 2883 kJ/kg
Spezif. Energie: 92,6 mt/kg = 908 kJ/kg
Dichte: 1,94 g/cm^3
Detonationsgeschwindigkeit: 7580 m/s bei ϱ = 1,75 g/cm^3
(bei Maximaldichte nicht detonierbar)
Verpuffungspunkt: 225−250 °C
die Zersetzung beginnt schon bei 130 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,5−0,6 kp m = 5−6 Nm
Reibempfindlichkeit: 20−30 kg = 196−294 N Stiftbelastung

Das Produkt ist durch alkalische Hydrolyse leicht zersetzbar. In Berührung mit neutralem und saurem Wasser ist es stabil. In den meisten organischen Lösungsmitteln und in geschmolzenem TNT ist es unlöslich; es löst sich in Dimethylsulfoxid (DMSO).

*) Dingu und Sorguyl wurden entwickelt durch die SOCIÉTÉ NATIONALE DES POUDRES ET EXPLOSIFS, Sorgues, Frankreich.

Die Weiternitrierung mit HNO_3 –N_2O_5-Gemisch erzielt das Tetranitramin „Sorguyl“:

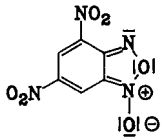


farblose Kristalle
Bruttoformel: $C_4H_2N_8O_{10}$
Molekulargewicht: 322,1
Sauerstoffwert: +5,0 %
Stickstoffgehalt: 34,79 %
Normalgasvolumen: 721 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1366 kcal/kg = 5718 kJ/kg
(H_2O gas): 1335 kcal/kg = 5589 kJ/kg
Spezif. Energie: 108,8 mt/kg = 1067 kJ/kg
Dichte: 2,01 g/cm^3
Detonationsgeschwindigkeit: 9150 m/s bei
ϱ = 1,95 g/cm^3
Verpuffungspunkt: 237 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,15–0,2 kp m = 1,5–2 Nm

Das Produkt ist interessant wegen seiner hohen Dichte und seiner hohen Detonationsgeschwindigkeit.

4,6-Dinitrobenzofuroxan

dinitrobenzofuroxane; 4,6-dinitrobenzofuroxane-1-oxide, Dinitro-dinitrosobenzol



goldgelbe Nadeln
Bruttoformel: $C_6H_2O_6N_4$
Mol.-Gew.: 226,11
Bildungsenergie: +216,5 kcal/kg = +905,8 kJ/kg
Bildungsenthalpie: +200,8 kcal/kg = +840,1 kJ/kg
Sauerstoffwert: –49,5 %
Stickstoffgehalt: 24,78 %
Normalgasvolumen: 890 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1103 kcal/kg = 4617 kJ/kg

(H_2O gas): 1090 kcal/kg = 4564 kJ/kg
Spezifische Energie: 128,8 mt/kg = 1263 kJ/kg
F.: 172 °C

Dinitrobenzofuroxan ist praktisch unlöslich in Wasser, Alkohol und Benzin, gut löslich in aromatischen Kohlenwasserstoffen und siedendem Eisessig.

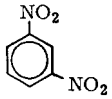
Die Verbindung erhält man durch direkte Nitrierung von Benzofuroxan mit konzentrierter Salpeter- und Schwefelsäure oder durch Erwärmen von → Pikrylchlorid mit Natriumazid in Eisessig auf dem Wasserbad.

Dinitrobenzofuroxan liegt in der Sprengkraft etwas höher als die → Pikrinsäure, doch hat es aufgrund seiner schwach saueren Eigenschaften und seiner relativ hohen Herstellungskosten bis jetzt keine größere Anwendung gefunden.

Von gewissem Interesse sind das Kalium- und Bariumsalz, welche thermisch sehr stabil und schwache → Initialexplosivstoffe sind. Das Kalium-Dinitrobenzofuroxan (KDNBF) liegt in der Schlag- und Reibempfindlichkeit zwischen dem → Knallquecksilber und dem → Bleiazid und ist hauptsächlich in den USA Bestandteil einiger Zündpillensätze.

m-Dinitrobenzol

metadinitrobenzene; métadinitrobenzène



hellgelbe Kristallnadeln
Bruttoformel: $C_6H_4N_2O_4$
Mol.-Gew.: 168,1
Bildungsenergie: –21,1 kcal/kg = –88,2 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –38,7 kcal/kg = –161,9 kJ/kg
Sauerstoffwert: –95,18 %
Dichte: 1,50 g/cm^3
Stickstoffgehalt: 16,67 %
Normalgasvolumen: 915 l/kg
Explosionswärme:
(H_2O fl.): 832 kcal/kg = 3482 kJ/kg
(H_2O gas): 805 kcal/kg = 3370 kJ/kg
Spezif. Energie: 79,7 mt/kg = 782 kJ/kg
F.: 89,6 °C

Dampfdruck:

Millibar	Temperatur °C
0,1	90
5	150
50	200
266	250
914	290

Bleiblockausbauchung: 242 cm^3
Detonationsgeschwindigkeit: 6100 m/s bei Dichte 1,50 g/cm^3
Verpuffungspunkt: Verdampfung bei 291 °C; keine Verpuffung
Schlagempfindlichkeit: 4 kp m = 39 Nm
Reibempfindlichkeit: bei 36 kp = 353 N Stiftbelastung keine Reaktion
Grenzdurchmesser-Stahlhülsentest: 1 mm

Dinitrobenzol ist in Wasser nur geringfügig löslich.

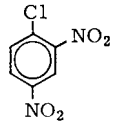
Man gewinnt es durch direkte Nitrierung von Benzol oder von Nitrobenzol. Es ist ein recht unempfindlicher Sprengstoff.

Wegen seiner Giftigkeit wurde Dinitrobenzol nur in Zeiten großer Verknappung an Trinitrotoluol für Sprengladungen eingesetzt.

Der MAK-Wert („maximale Arbeitsplatz-Konzentration“) beträgt für Dinitrobenzol 1 mg/m^3.

Dinitrochlorbenzol

dinitrochlorobenzene; dinitrochlorobenzène; 1-Chlor-2,4-dinitrobenzol



klare hellgelbe Kristalle
Bruttoformel: $C_6H_3N_2O_4Cl$
Mol.-Gew.: 202,6
Bildungsenergie: –13,8 kcal/kg = –57,8 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –28,6 kcal/kg = –120 kJ/kg
Sauerstoffwert: –71,1 %
Stickstoffgehalt: 13,83 %
Dichte: 1,70 g/cm^3

F.: (Isomerengemisch): 43 °C
Kp.: 315 °C
Bleiblockausbauchung: 225 cm^3
Verpuffungspunkt: bis 360 °C keine Reaktion
Schlagempfindlichkeit: über 5 kp keine
Reibempfindlichkeit: bis 36 kp = 353 N Stiftbelastung keine Reaktion
Grenzdurchmesser-Stahlhülsentest: bei 1 mm keine Reaktion

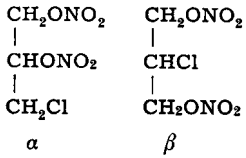
Dinitrochlorbenzol ist unlöslich in Wasser, löslich in heißem Alkohol, Ether und Benzol.

Man erhält Dinitrochlorbenzol bei der Nitrierung von Chlorbenzol als ein Gemisch der 2,4-Verbindung (F. 53,4 °C) und der 2,6-Verbindung (F. 87–88 °C).

Das Dinitrochlorbenzol ist ein Zwischenprodukt für viele Synthesen (→ Hexanitrodiphenylamin, Trinitrochlorbenzol, Trinitroanilin, Trinitrobenzol usw.).

Dinitrochlorhydrin

Monochlordinitroglycerin, Glycerinchlorhydrindinitrat, Chlorhydrindinitrat



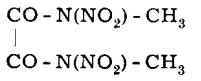
α β

schwach gelbliche Flüssigkeit
Bruttoformel: $C_3H_5N_2O_6Cl$
Mol.-Gew.: 200,5
Sauerstoffwert: –15,9 %
Stickstoffgehalt: 13,97 %
Dichte: 1,54 g/cm^3
E.: +5 °C
Bleiblockausbauchung: 475 cm^3
Detonationsgeschwindigkeit: 6750 m/s bei ϱ = 1,54 g/cm^3
Verpuffungspunkt: 190–205 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,7 kp m = 7 Nm

Dinitrochlorhydrin ist nicht hygroskopisch, praktisch unlöslich in Wasser, leichter flüchtig und weniger viskos als Nitroglycerin und von stärkerer physiologischer Wirkung als dieses.

Dinitrodimethyloxamid

dinitrodimethyloxamide; dinitrodiméthyloxamide



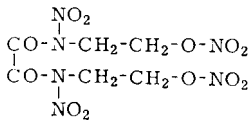
farblose Kristallnadeln
Bruttoformel: $C_4H_6N_4O_6$
Mol.-Gew.: 206,1
Bildungsenergie: –331,2 kcal/kg = –1386,6 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –354,2 kcal/kg = –1482,8 kJ/kg
Sauerstoffwert: –38,8 %
Stickstoffgehalt: 27,19 %
Normalgasvolumen: 979 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 862 kcal/kg = 3608 kJ/kg
(H_2O gas): 803 kcal/kg = 3360 kJ/kg
Spezif. Energie: 105,0 mt/kg = 1030 kJ/kg
Dichte (15 °C): 1,523 g/cm^3
Bleiblockausbauchung: 360 cm^3
Detonationsgeschwindigkeit: 7100 m/s bei
ϱ = 1,50 g/cm^3
Schlagempfindlichkeit: 0,6 kp m = 6 Nm

Die Verbindung ist unlöslich in Wasser, wenig löslich in Ether und Chloroform, löslich in Alkohol. Sie ist chemisch beständig.

Dinitrodimethyloxamid wird durch Nitrierung von Dimethyloxamid mit Salpetersäure/Schwefelsäure hergestellt.

Dinitrodioxyethyloxamiddinitrat

dinitrodioxyethyloxamide dinitrate;
dinitrate de dioxyéthyl-dinitroxamide;
Dinitrodiethanoloxamiddinitrat; Neno



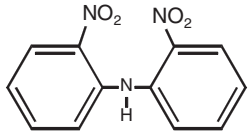
farblose Blättchen
Bruttoformel: $C_6H_8N_6O_{12}$
Mol.-Gew.: 356,2
Bildungsenergie: –337,8 kcal/kg = –1414,4 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –359,4 kcal/kg = –1504,9 kJ/kg
Sauerstoffwert: –18,0 %

Stickstoffgehalt: 23,60 %
Normalgasvolumen: 834 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1227 kcal/kg = 5138 kJ/kg
(H_2O gas): 1145 kcal/kg = 4795 kJ/kg
Spezif. Energie: 119,0 mt/kg = 1167 kJ/kg
F.: 88 °C

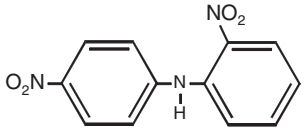
Dinitrodiethanolnitratoxamid ist leicht löslich in Aceton, heißem Alkohol, unlöslich in kaltem Wasser.

Man erhält Dinitrodiethanolnitratoxamid durch Nitrierung von Diethanoloxamid, das durch Kondensation von Monoethanolamin mit Oxalsäure gewonnen wird.

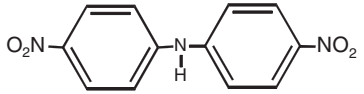
Dinitrodiphenylamin, NDPA



2,2'-Dinitrodiphenylamine



2,4'-Dinitrodiphenylamine



4,4'-Dinitrodiphenylamine

2,2'-Dinitrodiphenylamine:

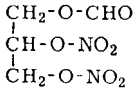
Gelbe Kristalle
Bruttoformel: $C_{12}H_9N_3O_4$
Mol.-Gew.: 259,22 g
Bildungsenergie: –3,60 kJ/mol
Bildungsenthalpie: –23,43 kJ/mol
Sauerstoffwert: –151,22 %
Dichte: 1,42 g/cm^3
Schmelzpunkt: 172,5-173 °C

Die Verbindung existiert in 3 isomeren Formen, von denen im wesentlichen das 2,2'-Dinitrodiphenylamin als Stabilisator zur Verhinderung

der vorzeitigen autokatalytischen Spaltung von flüssigen Salpetersäureestern und zur Stabilisierung von entsprechenden Treibstoffen oder Treibladungspulvern mit flüssigen Salpetersäureestern als Weichmacher eingesetzt wird. In Folge der etwas geringeren Reaktionsgeschwindigkeit aber beständigeren Bindung für die Reaktion mit NO und NO_2 Radikalen, wird es gerne als Langzeitstabilisator zusammen mit MNA (N-methyl-4-nitroanilin) kombiniert, das eine höhere Reaktionsgeschwindigkeit aufweist, aber entsprechend schneller verbraucht wird.

Dinitroformin

formylglycerol dinitrate; dinitrate de formylglycérine; Formyldinitroglycerin; Glycerin-formiat-dinitrat



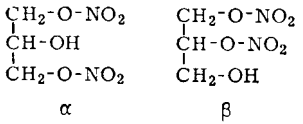
blaßgelbes Öl
Bruttoformel: $C_4H_6N_2O_8$
Mol.-Gew.: 210,1
Sauerstoffwert: –22,9 %
Stickstoffgehalt: 13,33 %
Dichte: 1,57 g/cm^3

Zur Darstellung von Dinitroformin setzt man Glycerin mit Oxalsäure um und nitriert das entstandene Monoformin-Glyceringemisch mit Mischsäure. Dinitroformin fällt als Gemisch mit 70 % Nitroglycerin an.

Die Mischung wurde zur Herstellung ungefrierbarer Sprengstoffe vorgeschlagen, ist jedoch heute durch das Nitroglykol überholt.

Dinitroglycerin

glycerol dinitrate; dinitrate de glycérol; Glycerindinitrat



farbloses, geruchloses Öl
Bruttoformel: $C_3H_6N_2O_7$
Mol.-Gew.: 182,1
Sauerstoffwert: –17,6 %

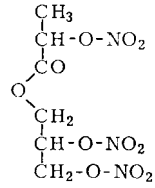
Stickstoffgehalt: 15,38 %
Dichte: 1,51 (15/4) g/cm^3
F.: –30 °C
Kp.: 146–148 °C (bei 15 mm)
Bleiblockausbauchung: 450 cm^3
Explosionswärme: 1201 kcal/kg = 5029 kJ/kg
Verpuffungspunkt: 170 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,15 kp m = 1,5 Nm

Dinitroglycerin ist dickflüssig, aber flüchtiger und leichter in Wasser löslich als Nitroglycerin, hygroskopisch und ein brauchbarer Gelatinator für manche Nitrocellulosen. Es ist stabiler als das Glycerin-Trinitrat. Seine Dämpfe sind giftig und verursachen Kopfschmerz.

Dinitroglycerin wurde technisch durch Nitrieren von Glycerin mit Salpetersäure hergestellt, wobei Gemische von Di- und Trinitroglycerin erhalten wurden.

Dinitroglycerinnitrolactat

Glycerin-nitrolactat-dinitrat

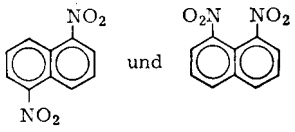


farblose Flüssigkeit
Bruttoformel: $C_6H_9N_3O_{11}$
Mol.-Gew.: 299,2
Sauerstoffwert: –29,4 %
Normalgasvolumen: 905 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1155 kcal/kg = 4837 kJ/kg
(H_2O gas): 1064 kcal/kg = 4455 kJ/kg
Spezif. Energie: 119,8 mt/kg = 1174 kJ/kg
Stickstoffgehalt: 14,05 %
Dichte: 1,47 g/cm^3
Brechungsindex: n_{25}^{D} = 1,464
Verpuffungspunkt: 190 °C

Dinitroglycerinnitrolactat ist in Wasser praktisch unlöslich, leicht löslich in Alkohol und Ether und ein guter Gelatinator für Nitrocellulose. Es ist wärmebeständiger und weniger schlagempfindlich als Nitroglycerin.

1,5- und 1,8-Dinitronaphthalin

dinitronaphthalene; dinitronaphthalène; Dinal



1,5- 1,8-

graugelbes Pulver
Bruttoformel: $C_{10}H_6N_2O_4$
Mol.-Gew.: 218,2
Bildungsenergie:
1,5-Isomere: +49,7 kcal/kg = +208,3 kJ/kg
1,8-Isomere: +57,5 kcal/kg = +240,9 kJ/kg
Bildungsenthalpie:
1,5-Isomere: +33,5 kcal/kg = +140,1 kJ/kg
1,8-Isomere: +41,3 kcal/kg = +172,7 kJ/kg
Sauerstoffwert: –139,3 %
Stickstoffgehalt: 12,84 %
Normalgasvolumen: 784 l/kg
Spezif. Energie:
1,5-Isomere: 58,0 mt/kg = 568 kJ/kg
1,8-Isomere: 58,5 mt/kg = 574 kJ/kg
F.: 1,5-Isomere: 216 °C 1,8-Isomere: 170 °C
Bleiblockausbauchung: 81 cm^3/10 g
Verpuffungspunkt: 318 °C
Schlagempfindlichkeit: bis 5 kp m = 49 Nm keine Explosion
Reibempfindlichkeit: bis 36 kp Stiftbelastung keine Reaktion

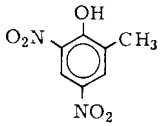
Man erhält Dinitronaphthalin durch Nitrierung von Naphthalin mit Mischsäure in zwei Stufen; das technische Produkt schmilzt etwa ab 140 °C; es ist ein Isomerengemisch.

Es ist in Benzol, Xylol und Aceton leicht, in Alkohol und Ether wenig löslich.

Das Produkt wurde in französischen Sprengstoffmischungen, den „Schneideriten“, als Kohlenstoffträger verwendet.

Dinitro-o-Kresol

dinitroorthocresol; dinitroorthocrésol

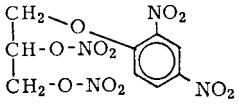


gelbe Kristalle
Bruttoformel: $C_7H_6N_2O_5$
Mol.-Gew.: 198,1
Bildungsenergie: –319,7 kcal/kg = –1338,7 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –339,2 kcal/kg = –1420,0 kJ/kg
Sauerstoffwert: –96,9 %
Stickstoffgehalt: 14,51 %
Normalgasvolumen: 934 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 614 kcal/kg = 2572 kJ/kg
(H_2O gas): 581 kcal/kg = 2433 kJ/kg
Spezif. Energie: 62,5 mt/kg = 612 kJ/kg
F.: 86 °C
Schlagempfindlichkeit: über 5 kp m
Reibempfindlichkeit: bis 36 kp Stiftbelastung keine Reaktion

Dinitro-o-Kresol ist unempfindlicher als Dinitrobenzol. Es wird – z. T. in Form seiner Salze – als Schädlingsbekämpfungsmittel eingesetzt.

Dinitrophenylglycerinetherdinitrat

glycerol-2,4-dinitrophenyletherdinitrate;
dinitrate de glycérine-dinitrophényléther; Dinitryl



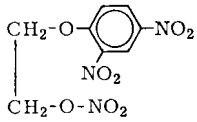
gelbliche Kristalle
Bruttoformel: $C_9H_8N_4O_{11}$
Mol.-Gew.: 348,2
Sauerstoffwert: –50,6 %
Stickstoffgehalt: 16,09 %
F.: 124 °C
Bleiblockausbauchung: 320 cm^3
Verpuffungspunkt: 205–210 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,8 kp m = 8 Nm

Die Darstellung erfolgt durch Eintragen von o-Nitrophenylglycerinether in Mischsäure bei 25–30 °C.

Die Verbindung ist unlöslich in Wasser, leicht löslich in Aceton, aber ein schlechter Gelatinator für Nitrocellulose.

Dinitrophenylglykolethernitrat

dinitrophenoxyethylnitrate; nitrate de 2,4-dinitrophénoxyéthyle



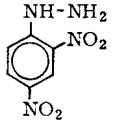
geblichweiße Kristalle
Bruttoformel: $C_8H_7N_3O_8$
Mol.-Gew.: 273,2
Bildungsenergie: –236,8 kcal/kg = –991,2 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –256,3 kcal/kg = –1072,9 kJ/kg
Sauerstoffwert: –67,4 %
Stickstoffgehalt: 15,38 %
Normalgasvolumen: 1042 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 829 kcal/kg = 3470 kJ/kg
(H_2O gas): 796 kcal/kg = 3334 kJ/kg
Spezif. Energie: 90,2 mt/kg = 885 kJ/kg
Dichte: 1,60 g/cm^3
E.: 64–67 °C
Bleiblockausbauchung: 280 cm^3
Detonationsgeschwindigkeit: 6800 m/s bei ϱ = 1,57 g/cm^3
Verpuffungspunkt: über 300 °C
Schlagempfindlichkeit: 2 kp m = 20 Nm

Unlöslich in Wasser, löslich in Aceton und Toluol.

Es wird hergestellt durch Lösen von Phenylglykolether in Schwefelsäure und Eingießen der Lösung in Mischsäure bei 10–20 °C. Es ist ein Gelatinator für Nitrocellulose.

2,4-Dinitrophenylhydrazin

dinitrophenylhydrazine; dinitrophénylhydrazine



Bruttoformel: $C_6H_6N_4O_4$
Mol.-Gew.: 198,1
Bildungsenergie: +81,2 kcal/kg = + 339,9 kJ/kg
Bildungsenthalpie: +60,3 kcal/kg = +252,3 kJ/kg
Sauerstoffwert: –88,0 %
Stickstoffgehalt: 28,28 %
Normalgasvolumen: 992 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 828 kcal/kg = 3465 kJ/kg
(H_2O gas): 799 kcal/kg = 3346 kJ/kg
Spezif. Energie: 84,9 mt/kg = 832 kJ/kg

Ist nach Untersuchungen der BAM trocken explodierbar, mit 20 % H_2O dagegen nicht mehr explosionsgefährlich. Es wird bei der Herstellung von Dinitrophenylhydrazon und deren Derivate verwendet.

1,4-Dinitrosobenzol

dinitrosobenzene; dinitrosobenzène

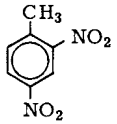
Bruttoformel: $C_6H_4N_2O_2$

Mol.-Gew. 136,1
Sauerstoffwert: –141 %
Stickstoffgehalt: 20,58 %
F.: Zersetzung
Bleiblockausbauchung: 138 cm^3
Verpuffungspunkt: 178–180 °C
Schlagempfindlichkeit: 1,5 kp m = 15 Nm
Reibempfindlichkeit: bis 36 kp Stiftbelastung keine Reaktion
Grenzdurchmesser-Stahlhülsentest: 2 mm

Erstaunlich ist, daß diese Substanz mit so wenig Sauerstoff-Einbau noch explosionsfähig ist. Im Ein-Zoll-Stahlrohr detoniert sie bei Zündung mit Zündladungskörper noch durch.

Dinitrotoluol

dinitrotoluene; dinitrotoluène; Binitrotoluol; DNT



gelbe Nadeln
Bruttoformel: $C_7H_6N_2O_4$
Mol.-Gew.: 182,1
Bildungsenergie:
2,4-Isomere: –74,4 kcal/kg = –311,4 kJ/kg
2,6-Isomere: –47,6 kcal/kg = –199,2 kJ/kg
Bildungsenthalpie:
2,4-Isomere: –93,9 kcal/kg = –392,9 kJ/kg
2,6-Isomere: –67,1 kcal/kg = –280,7 kJ/kg
Sauerstoffwert: –114,2 %
Stickstoffgehalt: 15,38 %
Normalgasvolumen: 933 l/kg
Explosionswärmen
2,4-Isomere, (H_2O fl.): 748 kcal/kg = 3134 kJ/kg
(H_2O gas): 717 kcal/kg = 3001 kJ/kg
2,6 Isomere, (H_2O fl.): 775 kcal/kg = 3246 kJ/kg
(H_2O gas): 744 kcal/kg = 3113 kJ/kg
Spezif. Energie:
2,4-Isomere: 69,6 mt/kg = 683 kJ/kg
2,6-Isomere: 71,8 mt/kg = 704 kJ/kg
F.: 70,1 °C für reine 2,4-Isomere

Dampfdruck der 2,4-Isomere:

Millibar	Temperatur °C
0.014	35
0.11	70
0.83	100
8.5	150
50.5	200
223	250
300	300

Schmelzwärme:
2,4-Isomere: 26.1 kcal/kg = 109 kJ/kg,
2,6-Isomere: 22,5 kcal/kg = 94 kJ/kg

Bleiblockausbauchung: 240 cm^3/10 g
Verpuffungspunkt: bei 360 °C Entzündung
Schlagempfindlichkeit: bis 5 kp m = 50 Nm
keine Reibempfindlichkeit: bis 36 kp = 353 N
Stiftbelastung keine Reaktion
Grenzdurchmesser-Stahlhülsentest: 1 mm

Dinitrotoluol ist in Wasser, Alkohol und Ether nur wenig löslich. Es entsteht bei der Herstellung von Trinitrotoluol im üblichen 3-Stufen-Verfahren.

Das Produkt selbst ist in Form eines niedrig schmelzenden Isomerengemisches (6 Isomere) eine wichtige Komponente zur Herstellung von gelatinösen wie pulverförmigen gewerblichen Sprengstoffen; wegen seiner stark negativen Sauerstoffbilanz dient es mit als Kohlenstoffträger. Es mischt sich leicht mit dem Sprengöl und gelatiniert Collodiumwolle.

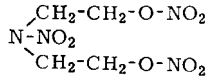
Ein reineres, überwiegend aus dem 2,4-Isomeren bestehendes Produkt wird auch als Komponente in Schießpulvern eingesetzt.

Technische Reinheitsforderungen

Feuchtigkeit höchstens	0,25 %
Benzolunlöslich höchstens	0,10 %
Säure als H_2SO_4 höchstens	0,02 %
Tetranitromethan	frei
Erstarrungspunkt	
für gewerbliche Sprengstoffe:	möglichst niedrig
für Pulver:	68,0 °C ± 2,5

Dioxyethylnitramindinitrat

dioxyethylnitramine dinitrate; dinitrate de dioxyéthylnitramine; Nitro-diethanolamindinitrat; Dina



farblose Kristalle
Bruttoformel: $C_4H_8N_4O_8$
Mol.-Gew.: 240,1
Bildungsenergie: −282,8 kcal/kg = −1184,2 kJ/kg
Bildungsenthalpie: −307,5 kcal/kg = −1287,4 kJ/kg
Sauerstoffwert: −26,6 %
Stickstoffgehalt: 23,34 %

Normalgasvolumen: 943 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1271 kcal/kg = 5320 kJ/kg
(H_2O gas): 1168 kcal/kg = 4890 kJ/kg
Spez. Energie: 133 mt/kg = 1306 kJ/kg
Dichte: 1,488 g/cm^3
F.: 51,3 °C
Bleiblockausbauchung: 445 cm^3
Detonationsgeschwindigkeit:
7580 m/s bei ϱ = 1,46 g/cm^3
Schlagempfindlichkeit: 0,6 kp m = 6 Nm

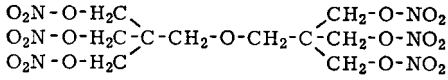
Dioxyethylnitramindinitrat wird aus Diethanolamin und Salpetersäure mit Essigsäureanhydrid als wasserentziehende Mittel und Salzsäure-Katalysator hergestellt. Das Nitrierprodukt wird durch Behandlung mit kochendem Wasser stabilisiert, dann in Aceton gelöst und wieder mit Wasser ausgefällt.

Es ist ein guter Gelatinator für Nitrocellulose und ein kräftiger Sprengstoff, dem Hexogen und Nitropenta vergleichbar.

Während des zweiten Weltkrieges setzte man in USA den Explosivstoff als Ersatz für Nitroglycerin in Corditen ein. Diese Pulver führten den Namen Albanite.

Dipentaerythrithexanitrat

dipentaerythritol hexanitrate; hexanitrate de dipentaérythrite; Hexanitrodipentaerythrit; Dipenta; Di-pentrit; DPEHN; DIPEHN



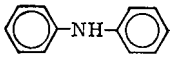
farblose Kristalle
Bruttoformel: $C_{10}H_{16}N_6O_{19}$
Mol.-Gew.: 524,3
Bildungsenergie: –423,4 kcal/kg = –1772,6 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –446,5 kcal/kg = –1869,5 kJ/kg
Sauerstoffwert: –27,5 %
Stickstoffgehalt: 16,03 %
Normalgasvolumen: 907 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1229 kcal/kg = 5145 kJ/kg
(H_2O gas): 1133 kcal/kg = 4744 kJ/kg
Spezif. Energie: 127 mt/kg = 1243 kJ/kg
Dichte: 1,63 g/cm^3
F.: 72 °C

Detonationsgeschwindigkeit (bei Dichte 1,59): 7400 m/s
Verpuffungspunkt: 200–220 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,4 kp m = 4 Nm
Dipentaerythrithexanitrat ist löslich in Aceton,
unlöslich in Wasser

Bei der Verarbeitung von technischem Pentaerythrit zum Tetranitrat entsteht als Nebenprodukt eine gewisse Menge Dipentaerythrithexanitrat.

Diphenylamin

diphenylamine; diphénylamine



farblose Kristalle
Bruttoformel: $C_{12}H_{11}N$
Mol.-Gew.: 169,2
Bildungsenergie: +186,0 kcal/kg = +778,9 kJ/kg
Bildungsenthalpie: +165,0 kcal/kg = +691,0 kJ/kg
Sauerstoffwert: –278,93 %
Stickstoffgehalt: 8,28 %
Dichte: 1,16 g/cm^3
F.: 54–55 °C
Kp.: 302 °C

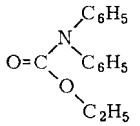
Diphenylamin ist wenig löslich in Wasser, leicht löslich in Alkohol und Säuren. Es ist ein brauchbares Reagens auf Salpetersäure und Nitrate. Besonders wichtig ist seine Verwendung als → Stabilisator.

Technische Reinheitsforderungen

Erstarrungspunkt:	51,7–53 °C
benzolunlösliches:	
nicht über	0,02 %
Feuchtigkeit:	
nicht über	0,2 %
Lösung in Ether-Alkohol:	klar
Aschegehalt: nicht über	0,05 %
Anilin: nicht über	0,1 %
Säure als HCl: nicht über	0,005 %
Alkali als NaOH: nicht über	0,005 %

Diphenylurethan

diphenylurethane; diphényluréthane



Bruttoformel: $C_{15}H_{15}NO_2$
Mol.-Gew.: 241,3
Bildungsenergie: –312,8 kcal/kg = –1309,6 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –334,9 kcal/kg = –1402,0 kJ/kg
Sauerstoffwert: –235,4 %
Stickstoffgehalt: 5,81 %

Diphenylurethan dient als Stabilisator für Schießpulver.

Technische Reinheitsforderungen

Farbe:	schneeweiß
Erstarrungspunkt: nicht unter	70 °C
Schmelze:	klar, farblos
flüchtige Bestandteile: nicht über	0,1 %
Aschegehalt: nicht über	0,1 %
Chloride als NaCl: nicht über	0,02 %
Reaktion:	neutral
Säure, als Verbrauch von n/10 NaOH/ 100 g: nicht über	0,1 cm^3

Ditching Dynamite

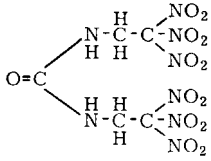
ein ungefähr 50 % nicht gelatiniertes Nitroglycerin enthaltenes Misch-Dynamit, das in den USA und Schweden zum Grabenausheben (ditching) verwendet wurde. Die Patronen wurden einzeln in gewissen Abständen in den Erdboden gesteckt und nur eine erste Schlagpatrone gezündet. Die große Empfindlichkeit und Übertragungsweite dieser Gemische bewirkt, daß die ganze Serie mit initiiert wird.

Dithekite

bezeichnet in USA ein flüssiges sprengkräftiges Gemisch aus Salpetersäure, Nitrobenzol und Wasser.

Di-(2,2,2-trinitroethyl)-Harnstoff

bi-trinitroethylurea; di-trinitréthylurée; BTNEU

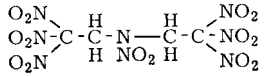


Bruttoformel: $C_5H_6N_8O_{13}$
Mol.-Gew.: 386,1
Bildungsenergie: –178,4 kcal/kg = –747,1 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –199,1 kcal/kg = –833,8 kJ/kg
Sauerstoffwert: ± 0 %
Stickstoffgehalt: 29,02 %
Normalgasvolumen: 768 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1543 kcal/kg = 6458 kJ/kg
(H_2O gas): 1455 kcal/kg = 6135 kJ/kg
Spezif. Energie: 114,0 mt/kg = 1118 kJ/kg

und

Di-(2,2,2-trinitroethyl)-nitramin

bi-trinitroethylnitramine; di-trinitroéthylnitramine;BTNENA oder HOX



Bruttoformel: $C_4H_4N_8O_{14}$
Mol.-Gew.: 388,1
Bildungsenergie: +2,6 kcal/kg = +10,8 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –17,3 kcal/kg = –72,2 kJ/kg
Sauerstoffwert: +16,5 %
Stickstoffgehalt: 28,87 %
Normalgasvolumen: 736 l/kg
Spezif. Energie: 108,6 mt/kg = 1065 kJ/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1299 kcal/kg = 5439 kJ/kg
(H_2O gas): 1248 kcal/kg = 5224 kJ/kg

sind Abkömmlinge des Trinitroethylalkohols, der bei Addition von → Nitroform mit Formaldehyd entsteht.

Donarit 1 und Donarit 4

Sprengtechnische Daten

	Donarit 1	Donarit 4
Beschaffenheit	pulverförmig rot	pulverförmig schwarzgrau
Wasserbeständigkeit	gering	gering
Sauerstoffbilanz	+0,8 %	+0,2 %
Schwadenvolumen	900 l/kg	920 l/kg
Explosionswärme (H_2O gas)	987 kcal/kg = 4133 kJ/kg	966 kcal/kg = 4044 kJ/kg
Spezif. Energie	106 mt/kg = 1040 kJ/kg	105 mt/kg = 1030 kJ/kg
Energiedichte	106 mt/l = 1040 kJ/kg/l	105 mt/l = 1030 kJ/l
Sprengstoffdichte	1,0 g/cm^3	1,0 g/cm^3
Bleiblockausbauchung	370 cm^3	360 cm^3
rel. weight strength	83 %	82 %
Detonationsgeschwindigkeit freiliegend	2600 m/s	2300 m/s
Detonationsgeschwindigkeit unter Einschuß	4500 m/s	4200 m/s
Stauchung nach *Kast*	3,5 mm	3,3 mm
Stauchung nach *Heß*	16 mm	15 mm
Schlagempfindlichkeit	0,75 kp m = 7,4 Nm	0,75 kp m = 7,4 Nm
Detonationsübertragung freihängend (Patronen-Ø 30 mm)	15 cm	5 cm

Donarit 1 und 4 sind pulverförmige Gestein-Ammonsalpetersprengstoffe mit einem geringen Gehalt an Sprengöl.

Bei der geringen Dichte von 1,0 und einem hohen spezifischen Gasvolumen besitzen sie im Gegensatz zu den Ammon-Geliten eine mehr schiebende Wirkung. Im Bergbau werden sie vorzugsweise in Kali- und Steinsalzgruben, ferner in der Industrie der Steine und Erden und im Erzbergbau über Tage verwendet. Auch für Sprengarbeiten in der Land- und Forstwirtschaft sind sie geeignet. Wenngleich ihre Wasserbeständigkeit geringer ist als die der gelatinösen Ammon-Gelite, so können sie doch noch in Bohrlöchern mit mäßiger Feuchtigkeit verwendet werden.

double base propellant

sind Schießpulver, die sich aus zwei Hauptbestandteilen, Nitrocellulose und Nitroglycerin bzw. anderen flüssigen Salpetersäureestern zusammensetzen. → POL-Pulver, → Nitroglycerinpulver.

Drop Test

dient zur Prüfung der Festigkeit und des Verbundes zwischen Umhüllung und Füllung bei Munitionskörpern, z. B. bei Bomben und bei Raketen-Motoren. Der Prüfgegenstand wird ohne scharfen Zünder von einem Galgen auf eine armierte Betonplatte fallen gelassen.

Druckstoßwirkung

blast effect; effet de souffle

Detonative Umsetzungen sind infolge der sehr schnellen Gas-Freisetzung durch den Druckstoß mit zertrümmernder bzw. verformender Wirkung gekennzeichnet. Näheres → Brisanz, → Detonation, → Hohlladung, → FAE, → Thermobare Sprengstoffe.

Düse

nozzle; tuyère

Die Düse dient in den Raketen durch die Querschnittsverengung und besondere Form zur Erzielung großer Gasdurchströmgeschwindigkeit (→ Ausströmgeschwindigkeit) und damit zum Schub-Aufbau. Das Düsenmaterial muß hohen Temperaturen und hohen Gasgeschwindigkeiten standhalten. Man benutzt daher besondere Düseneinsätze, überwiegend aus Graphit.

Dynacord

ist die Handelsbezeichnung für eine → Sprengschnur der Orica Germany GmbH mit ca. 12 g → Nitropenta pro Meter.

Kennzeichnende Farbe: grün; → auch: Multicord; Supercord; Wasacord.

Dynacord kann auch als Meßschnur zur Bestimmung der Detonationsgeschwindigkeit nach → Dautriche bezogen werden.

Dynamite

sind vorwiegend aus Nitroglycerin bestehende Sprengstoffgemische. Aus dem ersten bekannt gewordenen Gur-Dynamit von *Alfred Nobel*, bestehend aus 75 Teilen Nitroglycerin und 25 Teilen Kieselgur, entwickelten sich die sogenannten Mischdynamite (straight dynamites). Bei diesen wurden zum Aufsaugen des Nitroglycerins Gemische aus Natronsalpeter, Holzmehl und gewissen Pflanzenmehlen benutzt. Auch diese Dynamite werden heute praktisch kaum noch verwendet (→ Ballistischer Mörser).

Die Nitrocellulose ermöglichte die Herstellung von Dynamiten, bei denen das flüssige Sprengöl mittels Collodiumwolle gelatiniert wurde; Abstufungen des Nitroglyceringehaltes erhielt man auch hier durch Zumischen von Natronsalpeter, Holz- bzw. Pflanzenmehlen und sonstigen Zusätzen. Im englischen Sprachgebiet sind sie als „gelatins“, gelatin dynamites“, „straight gelatin dynamites“ oder „gelignite“ bekannt. Ein Austausch des Natronsalpeters durch Ammonsalpeter, des Nitroglycerins durch Nitroglykol und der weitere Zusatz von Gemischen aus Dinitrotoluol-Trinitrotoluol führt zu den heute meist verwendeten Ammon-Geliten.

Anstelle von reinem Nitroglycerin wird vorwiegend ein Gemisch von Nitroglycerin-Nitroglykol eingesetzt; die Gefahr eines Gefrierens der Dynamite ist dadurch behoben.

Die Dynamite von einst sind heute durch die wirtschaftlicheren → Ammon-Gelite ersetzt; sie werden in der Bundesrepublik nicht mehr hergestellt.

Dynaplat®

Registrierte Handelsbezeichnung für das Metall-Plattierverfahren der DYNAMIT NOBEL AG, Troisdorf (→ Metallbearbeitung durch Sprengstoffe).

Dynatronic®-Zündsystem

Das Dynatronic-Zündsystem von Orica Germany GmbH besteht aus einer Serie von programmierbaren elektronischen Zündern und den zugehörigen Programmier- und Steuergeräten.

Die elektronischen Zünder werden mit 61 Zeitstufen gefertigt. Das Zündintervall ist wählbar zwischen 1 ms und 100 ms und wird den Zündern erst unmittelbar vor der Zündung eingegeben.

Die elektronischen Dynatronic-Zünder können nur durch den vom Dynatronic-Programmier- und Steuergerät codierten Strom gezündet werden.

Im Vergleich zu den bisherigen Zeit- und Millisekunden-Zündern (→ Verzögerungssätze) sind die Zeitstufen wesentlich genauer und variierbarer.

Literatur:

Heinemeyer, Röh und *Steiner:* Aufbau und Wirkungsweise des elektronischen Zündsystems der Dynamit Nobel AG, NOBEL-Hefte (1988), S. 103–108.

Steiner: Hinweise zur Handhabung des elektronischen Zündsystems DYNATRONIC, NOBEL-Hefte (1990), S. 9–12.

Wendt: Neuere Anwendungsmöglichkeiten mit dem elektronischen Zündsystem, Nobel-Hefte (1997), S. 19–25.

Echolote

sind etwa 2 Gramm oder weniger Knallsatz enthaltende Vorrichtungen und dienen zur Messung der Meerestiefe aus der Laufzeit des Echos des ausgelösten Explosionsknalles.

Ednatol

Dichte 1,62 g/cm^3, Detonationsgeschwindigkeit 7300 m/s.

In den USA verwendete gegossene Sprengladung aus Ethylendinitramin und Trinitrotoluol (55/45).

Einschluß

confinement

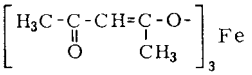
Als Einschluß bezeichnet man die unmittelbare Umgebung eines Explosivstoffes, wenn sie aus inertem, mehr oder weniger festem und mehr oder weniger dickwandigem Material besteht. Explosivstoffe verhalten sich auf Anzündmittel und auf Erwärmung von außen sehr verschieden, je nachdem sie sich in einem mehr oder weniger starkem Einschluß befinden. Bei Einschluß in mehrere Millimeter starkem Stahl geht fast jeder Explosivstoff bei Erwärmen in Explosion oder Detonation über, während viele Explosivstoffe ohne Einschluß („offen“) abzubrennen vermögen (→ Verbrennung).

Die Zertrümmerungswirkung einer Sprengung wird erheblich erhöht, wenn sich der Sprengstoff in Einschluß befindet („Verdämmung“), z. B. im Bohrloch. Ist dies nicht bereits vorgegeben, so wird häufig die

Sprengladung in inertem Material z. B. feuchtem Lehm eingebettet („verdämmt"), → Auflegerladung → Besatz.

Eisen-Acetylacetonat

iron acetylacetonate; acétylacétonate de fer



Bruttoformel: $C_{15}H_{21}O_6Fe$
Mol.-Gew.: 353,2
Sauerstoffwert: –163,1 %
Dichte: 1,34 g/cm^3
Bildungsenergie: –836,1 kcal/kg = –3500,6 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –858,7 kcal/kg = –3595,3 kJ/kg

Eisen-Acetylacetonat ist ein Aushärtemittel für Polymethanbinder mit Abbrand moderierenden Eigenschaften.

Eisen-III-Acetylacetonat ist ein Katalysator für die Isocyanatreaktion, d. h. für die Aushärtung von Polyurethan gebundenen Treib- und Explosivstoffen. Es wird im ppm Bereich eingesetzt. Die Wirksamkeit ist vergleichbar mit der von Dibutylzinndilaurat DBTDL und deutlich größer als die von Triphenylbismut TPB. Wesentlich verstärken lässt sich der katalytische Effekt auf die Polyurethanbildung durch den Zusatz tertiärer Amine wie Triethylamin oder Diazabicyclododecan.

Empfindlichkeit

sensibility; sensibilité

Die Sensibilität eines Sprengstoffes gegen Wärme, gegen mechanische Einwirkungen, Schlag, Stoß, Reibung und gegen Detonationsstoß (Initiierbarkeit) ist ausschlaggebend für seine Handhabungssicherheit und seine Verwendungsmöglichkeit.

Die Sprengstoffe sind von Natur aus mehr oder weniger empfindlich gegen Schlag und Stoß. Durch Zusätze, wie Öl, Paraffin und dgl., kann die Empfindlichkeit gegen mechanische Beanspruchung vermindert, durch scharfkantige oder spezifisch schwere Substanzen erhöht werden. Im ersten Fall spricht man von → „Phlegmatisierung", im zweiten von „Sensibilisierung".

Es wurden daher Prüfmethoden entwickelt, die eine gleichmäßige Beurteilung gewährleisten sollen. Diese sind in den „Recommendations on the Transport of Dangerous Goods; Manual of Tests and Criteria, United Nations" zusammengefasst. Von der dritten überarbeiteten Ausgabe gibt e seine deutsche Übersetzung: „Empfehlungen

für die Beförderung gefährlicher Güter; Handbuch über Prüfungen und Kriterien, Vereinte Nationen“*). Einzelheiten sind bei den jeweiligen Stichworten angegeben (→ Reibempfindlichkeit, Schlagempfindlichkeit, Thermische Empfindlichkeit).

Bezüglich des Verhaltens der Explosivstoffe bei normaler oder erhöhter Temperatur: → Stabilität.

Emulsionsförderung

water-driven injector transport; transport par injection d'eau

Die flüssigen Salpetersäureester („Sprengöle“) wie Nitroglycerin, Nitroglykol sind sehr schlagempfindlich; ihre Handhabung in den Sprengstoff-Fabriken in nicht gebundener Form ist gefährlich. Der Transport wird daher vielfach in emulgierter Form vorgenommen: Das Sprengöl wird aus dem Lager mit einem Druckwasser-betriebenen Injektor angesaugt und in emulgierter Form durch Rohrleitungen der Verarbeitungsstelle (den Mischhäusern) zugeführt. Dort wird es in Scheidern vom Transportwasser geschieden und nötigenfalls zur Trocknung über ein Salzfilter geleitet.

Emulsionssprengstoffe

Emulsionssprengstoffe sind wasserhaltige gewerbliche Sprengstoffe, basierend auf einer Wasser-in-Öl-Emulsion aus einer bei höheren Temperaturen gesättigten wäßrigen Nitratlösung (diskontinuierliche Phase) und Mineralölphase (kontinuierliche Phase). Durch Zugabe dichteregulierender Mittel (Mikrohohlkörper oder chemische Gasblasenbildung) kann die Sensibilität der Emulsionssprengstoffe im Bereich zwischen Initiierbarkeit durch Primer (→ Zündladungen) und Sprengkapsel Nr. 8 eingestellt werden. Die Dichte der kapselempfindlichen Emulsionssprengstoffe liegt meist zwischen 1,15 und 1,20 g/cm^3, diejenige der primersensitiven Typen um 1,25 g/cm^3. Im Gegensatz zu gelatinösen Sprengstoffen, wo gefrorene Produkte extrem gefährlich sind, sinkt bei Emulsionssprengstoffen lediglich die Initiierbarkeit mit der Temperatur.

Emulsionssprengstoffe können entweder direkt vor Ort in mobilen Misch-Lade-Geräten hergestellt und ins Bohrloch verpumpt oder patroniert geliefert werden. Eine Zwischenform stellen die wiederpumpbaren Emulsionssprengstoffe dar, die ab Werk in Tankcontainern geliefert und mit geeigneten Ladegeräten ins Bohrloch verpumpt (→ Großbohrlochsprengungen) werden.

*) Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven.

Die Detonationsgeschwindigkeit der kapselsensitiven Emulsionssprengstoffe liegt auch bei kleinen Durchmessern und ohne Stahlrohreinschluß über 4000 m/s. Ihre Leistung ist in der Praxis mit der von gelatinösen Standardsprengstoffen vergleichbar, obwohl die theoretisch errechneten Kennwerte ca. 30 % tiefer liegen. Diese Tatsache ist durch das nahezu ideale Detonationsverhalten und einem dementsprechend hohen Wirkungsgrad der Emulsionssprengstoffe erklärbar.

Emulsionssprengstoffe sind empfindlicher gegen Totpreßeffekte als gelatinöse oder pulverförmige Sprengstoffe. Dieser Nachteil ist durch Anpassung der sprengtechnischen Parameter gut beherrschbar. Die Vorteile der Emulsionssprengstoffe sind dagegen: keine gesundheitsschädlichen Nitroester und Nitroaromaten im Sprengstoff; stark verringerte Empfindlichkeit gegen mechanische und thermische Einwirkungen; exzellente Wasserfestigkeit ermöglicht das lose Einbringen des Sprengstoffes auch in wassergefüllte Bohrlöcher; die Schwaden enthalten nur sehr geringe Mengen an CO und NO_x.

Die „low water"-Emulsionssprengstoffe mit Wassergehalten unter 10 % zeigen eine geringfügig höhere Leistung und weiter verbesserte Initiierfreudigkeit. Da jedoch auch gleichzeitig allgemein die Empfindlichkeit gegen mechanische und thermische Belastung deutlich ansteigt, verzichtet man hier auf wesentliche Vorteile der „normalen" Emulsionssprengstoffe.

Literatur:

Fiederling, N.: Emulsionssprengstoffe in Theorie und Praxis, NOBEL-Hefte 54 (1988), S. 109–120.

Energetische Binder

Aktive Binder; energetic binders; energetic polymers

In modernen explosiven Systemen, wie z. B. Raketenfesttreibstoffen, Treibladungspulvern und Sprengstoffen, sind Oxidationsmittel (sauerstoffliefernde Substanzen), Brennstoffe und Explosivstoffe im Kunststoffbinder eingebettet. Durch die Wahl der entsprechenden Füllstoffe, des Bindermaterials und über den Füllstoffgehalt lassen sich das Verhalten der explosiven Systeme den geforderten Eigenschaften in weiten Grenzen anpassen. Der Kunststoffbinder beeinflusst die mechanische, thermische und detonative Empfindlichkeit (→ phlegmatisieren) und verleiht den Formulierungen ihre geometrische Form und geeignete mechanische Materialeigenschaften, die für ein definiertes Abbrandverhalten (→ Abbrandgeschwindigkeit) des Raketenfesttreibstoffs oder Rohrwaffentreibmittels ebenso wie für hohe mechanische Belastungen von Sprengstoffen (Penetratoren) notwendig sind. Die Umsetzung des Binders liefert allerdings nur einen geringen Beitrag zur Energiebilanz und fordert für Hochleistungssysteme einen mög-

lichst hohen Füllstoffgehalt. Da sich hohe Füllstoffgehalte nachteilig auf die mechanische Festigkeit auswirken, sucht man nach energetischen Bindermaterialien, die ihrerseits eine gute Sauerstoffbilanz und eine hohe Bildungsenthalpie aufweisen und damit auch bei niedrigen Füllstoffgehalten gleiche Leistung ermöglichen. Energetische Binder sollen einen hohen Energieinhalt mit guten mechanischen Eigenschaften, einer höheren thermischen Stabilität als die → Nitrocellulose oder das → Polyvinylnitrat und eine gute Verarbeitbarkeit aufweisen.

In den letzten 30 Jahren sind verstärkt Forschungsarbeiten und Entwicklungen zu neuen energetischen Bindern durchgeführt worden.

Entspannungssprengungen

Entspannungssprengungen dienen dem Auflockern von Gestein mit dem Zweck, hohe Druckbelastungen des Gebirges gleichmäßiger zu verteilen und dadurch der Gefahr von *Gebirgsschlägen* entgegenzuwirken. Gebirgsschläge sind besonders heftige Bruchvorgänge mit erheblicher Erschütterung des Gebirges. Sie können ein Vorprellen oder Abschleudern des beteiligten Gesteins (Kohle; Salze; massive Gesteine) und ein Zusammendrücken des Grubenbaus bewirken. In Kohlenflözen ist die Gefahr an abnorm hohem Bohrkleinanfall bei der Bohrarbeit (sog. Testbohrung) zu erkennen. Entspannungssprengungen werden mit nichtwerfenden Ladungen vorgenommen.

Eprouvette

Die Eprouvette ist ein Instrument zur Leistungs-Bestimmung von → Schwarzpulvern. Sie stellt einen senkrecht nach oben gerichteten kleinen Mörser dar, dessen Geschoß nach Erreichen seiner maximalen Wurfhöhe in einem Gestänge einrastet. Eine bestimmte Menge Schwarzpulver wird geladen, über ein Zündloch mit Zündschnur gezündet und die Einrasthöhe bestimmt. Sie ist ein Maß für die Leistung des Schwarzpulvers; die Energie-Abgabe durch das Pulver ist zwar nicht so sehr verschieden, da die Zusammensetzung der verschiedenen Schwarzpulver nicht sehr differiert, wohl aber macht sich die Intensität bemerkbar, mit der das Schwarzpulver gemischt wurde. Je länger das Pulver im Läuferwerk bearbeitet wurde, um so höhere Eprouvetten-Werte werden erreicht. Die Anzünd- und Abbrand-Geschwindigkeit geht in die Wurfhöhe ein.

Erosiver Abbrand

erosive burning; combustion érosive

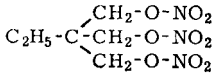
Man bezeichnet damit in der Festtreibstoffraketentechnik die anormale Zunahme der Abbrandgeschwindigkeit. Eine solche kann durch mechanische Abtragung von Treibstoffteilen durch die Gasbewegung und deren Verbrennung im Gasstrom eintreten.

Als Resonanz-Abbrand bezeichnet man das zusätzliche Auftreten von Druckspitzen im Brennkammerdruck und die dadurch entstehende Unregelmäßigkeit im Abbrand; diese Druckspitzen stammen aus der Wechselwirkung von Gasstrom und Flamme und äußern sich in einer Art Schwingung.

Sternförmige Ausnehmungen bei Innenbrennern wirken druckausgleichend und vermindern die Neigung zur Resonanz.

Ethrioltrinitrat

trimethylolethylmethane trinitrate;
trinitrate de triméthylol-éthyl-méthane;
Trimethylolethylmethantrinitrat; Trimethylol-propantrinitrat



farblose Kristalle
Bruttoformel: $C_6H_{11}N_3O_9$
Mol.-Gew.: 269,1
Bildungsenergie: –400,8 kcal/kg = –1678,2 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –426,1 kcal/kg = –1784,1 kJ/kg
Sauerstoffwert: –50,5 %
Stickstoffgehalt: 15,62 %
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1024 kcal/kg = 4288 kJ/kg
(H_2O gas): 947 kcal/kg = 3963 kJ/kg
Spezif. Energie: 118,5 mt/kg = 1162 kJ/kg
Normalgasvolumen: 1082 l/kg
Dichte: 1,5 g/cm^3
F.: 51 °C
Bleiblockausbauchung: 415 cm^3/10 g
Detonationsgeschwindigkeit: 6440 m/s bei
ϱ = 1,48 g/cm^3

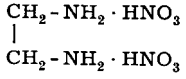
Nitrocellulose wird nicht gelatiniert.

Zur Herstellung von Ethrioltrinitrat wird Trimethylolpropan (erhalten durch Kondensation von Formaldehyd mit Butyraldehyd in Gegenwart von Kalk) mit Salpetersäure/Schwefelsäure nitriert, wobei der kri-

stalline Körper unter Rührung nach und nach bei 14–18 °C in das Säuregemisch eingetragen wird. Der Nitrieransatz wird in Eiswasser gegossen, wobei sich der Ester abscheidet; er wird wie üblich neutral gewaschen und schließlich aus Alkohol umkristallisiert. Ethrioltrinitrat ist weniger schlagempfindlich als Tetryl.
Wegen seiner mangelnden Gelatinierfähigkeit kann das Produkt nur zusammen mit guten Nitrocellulose-Gelatinatoren, wie z. B. Triglykoldinitrat, als Komponente in → POL-Pulvern eingesetzt werden.

Ethylendiamindinitrat

ethylene diamine dinitrate; dinitrate d'éthylène diamine; PH-Salz



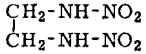
farblose Kristalle
Bruttoformel: $C_2H_{10}N_4O_6$
Mol.-Gew.: 186,1
Bildungsenergie: –805,3 kcal/kg = –3371,5 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –837,1 kcal/kg = –3504,7 kJ/kg
Sauerstoffwert: –25,8 %
Stickstoffgehalt: 30,11 %
Dichte: 1,577 g/cm^3 (20/4)
F.: 188 °C
Bleiblockausbauchung: 350 cm^3
Detonationsgeschwindigkeit: 6800 m/s
bei ϱ = 1,52 g/cm^3
Explosionswärme
(H_2O fl.): 913 kcal/kg = 3820 kJ/kg
(H_2O gas): 741 kcal/kg = 3100 kJ/kg
Spezif. Energie: 99,3 mt/kg = 974 kJ/kg
Normalgasvolumen: 1083 l/kg
Verpuffungspunkt: 370–400 °C
Schlagempfindlichkeit: 1,0 kp m = 10 Nm
Reibempfindlichkeit: bis 36 kp = 353 N Stiftbelastung
keine Reaktion
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest: 2 mm

Ethylendiamindinitrat ist etwas hygroskopisch und leicht löslich in Wasser. Man erhält Ethylendiamindinitrat durch Sättigung der wäßrigen Lösung von Ethylendiamin mit Salpetersäure.

Es fand Anwendung als Mischkomponente für Ammonsalpeterschmelzen, da es im Gemisch 50/50 mit Ammoniumnitrat ein bei 100 °C schmelzendes eutektisches Gemisch bildet.

Ethylendinitramin

ethylenedinitramine; éthylènedinitramine; N,N'-dinitroethylendiamin
Haleite; Halite; EDNA



farblose Kristalle
Bruttoformel: $C_2H_6N_4O_4$
Mol.-Gew.: 150,1
Bildungsenergie: –136,4 kcal/kg = –570,9 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –164,0 kcal/kg = –686,5 kJ/kg
Sauerstoffwert: –32 %
Stickstoffgehalt: 37,33 %
Normalgasvolumen 1047 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1122 kcal/kg = 4699 kJ/kg
(H_2O gas): 1023 kcal/kg = 4281 kJ/kg
Spezif. Energie: 128,5 mt/kg = 1260 kJ/kg
Dichte: 1,71 g/cm^3
F. (unter Zersetzung): 177 °C
Bleiblockausbauchung: 410 cm^3/10 g
Detonationsgeschwindigkeit: 7570 m/s bei
ϱ = 1,49 g/cm^3
Verpuffungspunkt: 180 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,8 kp m = 8 Nm

Ethylendinitramin verhält sich wie eine zweibasige Säure, es bildet neutrale Salze.

Die Verbindung ist unlöslich in Ether, wenig löslich in Wasser und Alkohol, löslich in Nitrobenzol und Dioxan, nicht hygroskopisch.

Sie besitzt beachtliche Sprengkraft bei hoher chemischer Stabilität und relativ geringer mechanischer Empfindlichkeit.

Zur Herstellung von Ethylendinitramin nitriert man Ethylenharnstoff mit Mischsäure zu Dinitroethylenharnstoff, welcher durch CO_2-Abspaltung in Ethylendinitramin übergeht.

Ethylenharnstoff wird aus Ethylendiamin mit Ethylcarbonat unter Druck synthetisiert.

Gießbare Gemische des Ethylendinitramins mit TNT werden in den USA als Ednatol bezeichnet.

Ethylnitrat

ethylnitrate; nitrate d'éthyle

$C_2H_5–O–NO_2$

farblose, flüchtige Flüssigkeit von angenehmem Geruch
Bruttoformel: $C_2H_5NO_3$
Mol.-Gew.: 91,05
Bildungsenergie: –470,4 kcal/kg = –1969,4 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –499,6 kcal/kg = –2091,9 kJ/kg
Sauerstoffwert: –61,5 %
Stickstoffgehalt: 15,24 %
Normalgasvolumen: 1228 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 987 kcal/kg = 4133 kJ/kg
(H_2O gas): 893 kcal/kg = 3739 kJ/kg
Spezif. Energie: 113,0 mt/kg = 1108 kJ/kg
Dichte: 1,10 g/cm^3 (20/4)
Kp.: 87,7 °C
F.: –102 °C
Bleiblockausbauchung: 420 cm^3/10 g
Detonationsgeschwindigkeit: 5800 m/s bei
ϱ = 1,1 g/cm^3

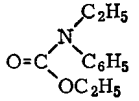
Ethylnitrat ist praktisch unlöslich in Wasser, löslich in Alkohol und in den meisten organischen Lösungsmitteln. Die Dämpfe des Ethylnitrats bilden schon bei gewöhnlicher Temperatur mit Luft leicht explosible Gemische mit einer unteren Explosionsgrenze von 3,8 % Ethylnitrat.

Ethylnitrat wird durch Destillation von Ethylalkohol und 65 %iger Salpetersäure unter Zusatz von etwas Harnstoff hergestellt.

Ethylnitrat fand früher zusammen mit flüssigem Kalium-Natrium Verwendung in sogen. „chemischen Zündern", da es bei Berührung mit Alkalimetallen explodiert.

Ethylphenylurethan

ethyl phenylurethane; éthylphényluréthane



farblose Flüssigkeit
Bruttoformel: $C_{11}H_{15}NO_2$
Mol.-Gew.: 193,2
Bildungsenergie: –545,8 kcal/kg = –2285,1 kJ/kg

Bildungsenthalpie: –573,4 kcal/kg = –2400,6 kJ/kg
Sauerstoffwert: –227,7 %
Stickstoffgehalt: 7,25 %

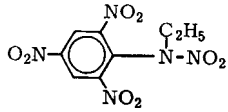
Ethylphenylurethan ist ein gelatinierender → Stabilisator für Schießpulver, besonders Nitroglycerin-Pulver.

Technische Reinheitsforderungen

Aussehen:	klar, farblos
Dichte 20/4:	1,042–1,044 g/cm^3
Refraktion 20/D:	1,504–1,507
Siedeanalyse:	252–255 °C
Säure als HCl:	
nicht über	0,004 %
Reaktion:	neutral

Ethyltetryl

ethyltetryl; 2,4,6-trinitrophényl-éthyl-nitramine; 2,4,6-Trinitrophenylethylnitramin



Bruttoformel: $C_8H_7N_5O_8$
Mol.-Gew.: 301,2
Bildungsenergie: +3,70 kcal/kg = +15,6 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –15,9 kcal/kg = –66,7 kJ/kg
Sauerstoffwert: –61,1 %
Stickstoffgehalt: 23,25 %
Normalgasvolumen: 1029 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 957 kcal/kg = 4006 kJ/kg
(H_2O gas): 928 kcal/kg = 3887 kJ/kg
Spezif. Energie: 108,9 mt/kg = 1068 kJ/kg
Dichte: 1,63 g/cm^3
F.: 94 °C
Schmelzwärme: 18,7 kcal/kg = 78 kJ/kg
Bleiblockausbauchung: 325 cm^3/10 g
Schlagempfindlichkeit: 0,5 kp m = 5 Nm
Reibempfindlichkeit: bis 36 kp = 353 N Stiftbelastung
keine Reaktion

Die Verbindung gleicht in ihren Eigenschaften dem Tetryl, man kann sie aus Mono- bzw. Diethylanilin herstellen.

Der gegenüber Tetryl niedrigere Schmelzpunkt erleichtert den Einsatz des Ethyltetryls in energiereichen gießbaren Mischungen.

Explosionsfähiger Stoff

Explosionsfähige Stoffe sind feste, flüssige und gasförmige Stoffe*) oder Stoffgemische in einem metastabilen Zustand, die einer schnellen chemischen Reaktion ohne Hinzutreten von weiteren Reaktionspartnern, z. B. Luft-Sauerstoff, fähig sind. Die Auslösung der Reaktion kann durch mechanische Beanspruchung (Schlag; → Schlagempfindlichkeit; Reibung; → Reibungsempfindlichkeit), durch thermische Einwirkung (Funken; Flamme; glühende Gegenstände) und durch Detonationsstoß (→ Sprengkapsel mit und ohne → Verstärkungsladung) erfolgen. Die thermische Belastbarkeit des metastabilen Zustands wird mit dem Begriff → Stabilität gekennzeichnet. Die Auslösbarkeit der explosiven Reaktion kennzeichnet der Begriff → Empfindlichkeit. Die Reaktionsprodukte sind fast immer überwiegend gasförmig (→ Schwaden). Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit von der Auslösungsstelle aus kann wesentlich unterhalb der Schallgeschwindigkeit des betreffenden Stoffes (→ Deflagration; → Treibstoff) oder in Überschallgeschwindigkeit (→ Detonation) liegen. Explosivstoffe sind feste, flüssige und gelatinöse Stoffe und Stoffgemische, die zum Zweck des Sprengens oder Treibens (→ explosionsgefährlicher Stoff) hergestellt werden. Über ihre Wirksamkeit → Arbeitsvermögen, → Abbrandgeschwindigkeit und → Brisanz.

Unter den Begriff „Explosionsfähige Stoffe“ fallen auch solche, die nicht zum Zweck des Sprengens und Schießens hergestellt worden sind, z. B. organische Peroxide als Katalysatoren, Gasentbindungsmittel für die heutige Schaum- und Kunststofftechnik, manche Schädlingsbekämpfungsmittel u. a. m. Bei vielen Stoffen ist deren Explosionsfähigkeit unbekannt, z. B. wenn sie einer exotherm verlaufenden Umlagerungsreaktion fähig sind.

Als „Faustformel“ empfiehlt *J. F. Roth***) zur Abschätzung der Explosionsfähigkeit von solchen daraufhin etwa nicht untersuchten Verbindungen die Errechnung eines „erweiterten *Berthelotschen* Produktes“: *Berthelot****)* hatte seinerzeit das Produkt $V_0 \times Q_v$ (V_0: Schwadenvolumen; Q_v: Explosionswärme; zur Berechnung dieser Größen siehe Seiten 275 bis 280 diesen Buches) angegeben; *Roth* dimensioniert vorgangsgerechter:

---

*) Definiert und reglementiert können nur feste und flüssige Stoffe werden. Gasförmige explosionsfähige Mischungen entstehen oft unbemerkt (Gasleitungsleckagen; Lösemitteldämpfe; Grubengase) und sind daher besonders umweltgefährdend.

**) J. F. Roth: Risques d’Explosion en milieux condensés par Concentration synchrone d’énergie ou dans des Microressorts; Vortrag, gehalten in Brüssel 1978.

***) M. Berthelot: Sur la Force des Matières Explosives d’après la Thermochimie, S. 64–67 (1883).

1. die je Volumeneinheit freiwerdende Gasmenge, d. i. das Produkt aus Stoff- oder Ladedichte ϱ_0 [kg/m^3] mit dem Normalvolumen der Schwaden V_0 [m^3/kg], also das Verhältnis Schwadenvolumen zu Stoffvolumen $\varrho_0 \cdot V_0$ in [m^3/m^3];
2. die je Volumeneinheit freiwerdende Energie, d. i. das Produkt aus ϱ_0 [kg/m^3] mit der Explosionswärme Q_v [kJ/kg], also $\varrho_0 \cdot Q_v$ [kJ/m^3].

Durch die Energiedichte wird die Gasmenge nach 1. aufgeheizt.
So entsteht dem ursprünglichen *Berthelotschen Produkt folgend das „erweiterte Berthelotsche* Produkt“ nach *Roth*

$(\varrho_0 \cdot V_0) \cdot (\varrho_0 \cdot Q_v)$

und wird so eine auf das Volumen bezogene Vergleichsbewertung, deren Faktoren direkt meßbar (ϱ_0) oder aus zugänglichen thermodynamischen Daten (insbesondere aus den Bildungsenergien vom Stoff und der Schwadenbestandteile) berechenbar sind (→ Thermodynamische Berechnung, 296 bis 324).

Die folgende Tabelle zeigt solche Bewertungszahlen für bekannte Explosivstoffe und für Verbindungen, die an der Grenze der Explosionsfähigkeit liegen. Das „Oppauer Salz“ ist das Doppelsalz 54,8 % NH_4NO_3 – 45,2 % $(NH_4)_2SO_4$, dessen Detonation 1921 die wohl größte bisher bekannt gewordene Explosionskatastrophe auslöste. Produktwerte über 1193 müssen also wohl die Explodierbarkeit der betreffenden Verbindung bzw. des Gemisches vermuten lassen.

Tabelle 4. *Berthelot-Roth*sches Produkt.

	Dichte $\left[10^3 \frac{kg}{m^3}\right]$	Schwadenvolumen $\left[\frac{m^3}{kg}\right]$ *)	Explosionswärme $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$ **)	*Berthelot-Roth*sches Produkt $\left[10^6 \frac{m^3}{kJ}\right]$
Oktogen	1,96	0,927	5253	18707
Nitroglycerin	1,599	0,782	6218	12432
TNT	1,65	0,975	3612	9588
Nitromethan	1,13	1,102	4294	6042
Donarit 4	1,0	0,920	3960	3643
Schwarzpulver (75/10/15 Salpeter/Schwefel/Kohle)	1,87	0,274	3040	2913
Wettersprengstoff K. III	1,18	0,542	1620	1222
Hydrazin, H_4N_2	1,00	1,993	1785	3558
Blausäure, HCN	0,7	0,817	5113	2047
Ammoniumnitrat	1,72	0,980	1443	4184
geschüttet	1,0	0,980	1443	1414
„Oppauer Salz"	1,1	0,920	1072	1193

*) *Roth* hat die Tabelle im kg-m-sec-Maßsystem und daher die Volumenwerte in m^3 angegeben; die sonst im Buch aufgeführten Schwadenvolumen-Werte sind noch nach der älteren Schreibweise in Litern aufgeführt.

**) bezogen auf H_2O-Gas als Reaktionsprodukt.

Die folgenden Tabellen 5 und 6 sind von der → BAM aufgestellte Listen über die in der Praxis vorkommenden explosionsfähigen Stoffe und Gegenstände; sie enthalten auch solche, die nicht zum Zweck des Sprengens bestimmt sind.

Tabelle 5. Übersicht über explosionsfähige Stoffe

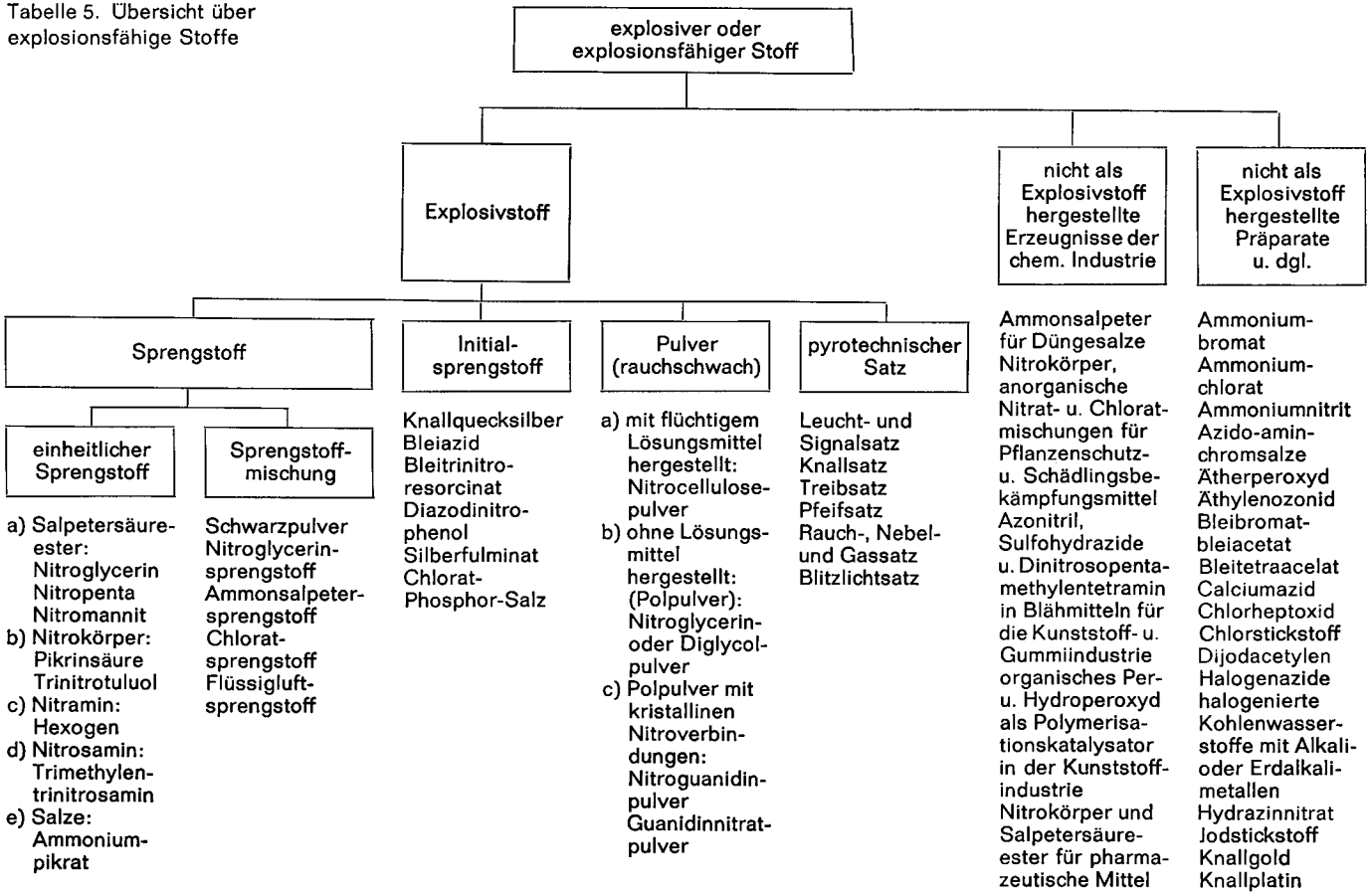
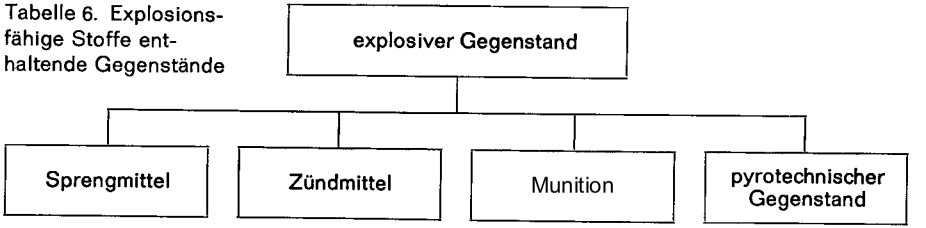


Tabelle 6. Explosionsfähige Stoffe enthaltende Gegenstände



Sprengmittel

a) Pulver-Sprengmittel:
Sprengpulver
Sprengsalpeter
b) brisante Gesteinssprengmittel:
Ammongelit,
Donarit,
Ammonit
ANC-Sprengstoff
Sprengschlamm
c) Wettersprengmittel:
Wetter-Nobelit,
Wetter-Wasagit,
Wetter-Detonit,
Wetter-Westfalit,
Wetter-Energit,
Wetter-Roburit,
Wetter-Carbonit,
Wetter-Securit
d) Sprengschnüre

Zündmittel

a) sprengkräftig:
Sprengkapsel
elektr. Zünder
m. Sprengkapsel
Sprengschnur
b) nicht sprengkräftig:
elektr. Zünder
o. Sprengkapsel
Pulverzündschnur
u. Anzünder
Anzündlitze
Zündhütchen
Ferner folgende Gegenstände mit Initialsprengstoffen:
Sprengniet,
Flobertmunition,
Zündblättchen,
Knallkork,
Knallziehband

Munition

Patrone für Handfeuerwaffen
Patrone für Leucht- und Signalmunition
Kartusche für Schußapparat zu techn. Zwecken
Rakete

pyrotechnischer Gegenstand

Kleinstfeuerwerk
Kleinfeuerwerk
Mittelfeuerwerk
Großfeuerwerk
Für technische Zwecke

Anzündmittel

Anzündschnur für pyrotechnische Zwecke
Stoppine
Anzündlichter
Mechanische Anzünder
Elektrische Brückenanzünder

Azo- und Diazoverbindungen in Bleich- und Waschmitteln
Nitrocellulose für Nitrolack, Nitrofilm, Nitroseide
explosive Gase, wie Acetylen, Chlordioxyd
u. a.

Knallsilber
Manganheptoxid
Metallpikrate
Metallsalze des Hydrazins
Natriumnitromethan
organische Chlorate und Perchlorate
Perchlorsäure 100%ig
Quecksilberoxalat
Quecksilberoxiimid
Schwefelstickstoff
Silberchlorat
Silberoxalat
Silberpersulfat
Strontiumazid
Zinkchlorat
u. a.

Die Tabellen 5 und 6 wurden von der BAM aufgestellt und erschienen in Luegers Lexikon der Technik, 4. Auflage, Band 3. „Werkstoffe und Werkstoffprüfung" bei der Deutschen Verlagsanstalt Stuttgart.
Die Aufführung der gewerblichen Sprengmittel wurde dem Stand der Zulassungslisten angepaßt. Sprengschnüre dienen beim → „Schonenden Sprengen" als Sprengmittel.

Explosionsgefährlicher Stoff

Gemäß dem Anfang 1970 in Kraft getretenen und zuletzt 2005 novellierten Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe geschieht die Abgrenzung gegenüber dem breiteren Bereich der → explosionsfähigen Stoffe wie folgt:

Explosionsgefährliche Stoffe sind feste oder flüssige*) Stoffe, die bei der Durchführung der weiter unten aufgeführten Prüfverfahren

1. durch Erwärmung ohne vollständigen festen Einschluß oder
2. durch eine nicht außergewöhnliche Beanspruchung durch Schlag oder Reibung ohne zusätzliche Erwärmung

in dem in den Vorschriften über die Prüfverfahren bestimmten Ausmaß zu einer chemischen Umsetzung gebracht werden, bei der entweder hochgespannte Gase in so kurzer Zeit entstehen, daß eine plötzliche Druckwirkung hervorgerufen wird (Explosion) oder bei der eine Wirkung eintritt, die in den Vorschriften über die Prüfverfahren der Explosion gleichgestellt ist.

Die Prüfverfahren sind nach Anhang I Teil A 14 der Richtlinie 92/96/EWG: Stahlhülsenverfahren (→ Thermische Sensibilität), Verfahren mit dem Fallhammerapparat (→ Schlagempfindlichkeit) und Verfahren mit dem Reibapparat (→ Reibempfindlichkeit) werden zur Prüfung angewendet. Die BAM hat als Grenzwerte aufgestellt:

Bei der Prüfung auf Einordnung eines Stoffes in die Kategorie der explosionsgefährlichen Stoffe werden die – an anderer Stelle beschriebenen – Prüfapparate mit folgenden Einsatzteilen angewendet:

Im Stahlhülsenverfahren eine Düsenplatte mit 2 mm ⌀ Bohrung; im Fallhammerapparat eine Fallmasse von 10 kg aus 0,4 m Höhe; im Reibapparat eine Stiftbelastung von 36 kp = 353 N.

*) Selbstverständlich sind auch Gasgemische explosionsgefährlich, wenn sie brennbare Gase neben Sauerstoff inerhalb der Explosionsgrenzen enthalten; sie sind sogar um so gefährlicher, als ihre Bildung unbemerkt durch Leckage erfolgen kann. Das Sprengstoffgesetz befaßt sich jedoch nur mit festen oder flüssigen Stoffen, deren Entstehung kontrollierbar ist.

Tabelle 7.

Beispiele für explosionsgefährliche Stoffe

1. Ammoniumdichromat, $(NH_4)_2Cr_2O_7$
2. Ammoniumperchlorat, NH_4ClO_4
3. Ammoniumpikrat, $C_6H_6O_7N_4$
4. Azotetrazolmetallsalze, z. B. $C_2N_{10}Me^*xH_2O$
5. Bleiazid, PbN_6
6. Bleidinitrokresolat, $C_{14}H_{10}N_4O_{10}Pb$
7. Bleitrinitroresorcinat, $C_6HN_3O_8Pb$
8. 1,2,4-Butantrioltrinitrat, $C_4H_7N_3O_9$
9. Cellulosenitrate, (mit mehr als 12,6% Stickstoff)
10. Cyanurtriazid, C_3N_{12}
11. Di-(aminoguanidin)-azotetrazol, $C_4H_{16}N_{18}O$
12. Diazodinitrophenol, $C_6H_2N_4O_5$
13. 2,4-Dichlor-1,3,5-trinitrobenzol, $C_6HN_3O_6Cl_2$
14. Diethanolamintrinitrat, $C_4H_{10}N_4O_9$
15. Diethylenglykoldinitrat, $C_4H_8N_2O_7$ (Nitrodiglykol)
16. Diglycerintetranitrat, $C_6H_{10}N_4O_{13}$
17. Dinitroaminophenol, $C_6H_5N_3O_5$ (Pikraminsäure)
18. Dinitrodimethyloxamid, $C_4H_6N_4O_6$
19. Dinitrodioxyethyl-oxamid-dinitrat, $C_6H_8N_6O_{12}$ (Dinitrodiethanoloxamiddinitrat)
20. Dinitrophenolmetallsalze, $C_6H_3N_2O_5Me^*$
21. Dinitrophenylglycerinetherdinitrat, $C_9H_8N_4O_{11}$
22. Dinitrophenylglycerinethermononitrat, $C_9H_9N_3O_9$
23. Dinitrophenylglykolethernitrat, $C_8H_7N_3O_8$
24. Dinitroresorcinschwermetallsalze, z. B. $C_6H_2N_2O_6Me^*$
25. Dioxyethylnitramindinitrat, $C_4H_8N_4O_8$
26. Dipentaerythrithexanitrat, $C_{10}H_{16}N_6O_{19}$
27. Erythrittetranitrat, $C_4H_6N_4O_{12}$
28. Ethylendiamindinitrat, $C_2H_{10}N_4O_6$
29. Ethylendinitramin, $C_2H_6N_4O_4$
30. Ethylnitrat, $C_2H_5NO_3$
31. Glycerin-acetat-dinitrat, $C_5H_8N_2O_8$
32. Glycerinmonochlorhydrin-dinitrat, $C_3H_5ClN_2O_6$ (Dinitromonochlorhydrin)
33. Glycerindinitrat, $C_3H_6N_2O_7$
34. Glycerin-formiat-dinitrat, $C_4H_6N_2O_8$ (Dinitroformin)
35. Glycerin-nitrolactat-dinitrat, $C_6H_9N_3O_{11}$
36. Glycerintrinitrat, $C_3H_5N_3O_9$ (Nitroglycerin)
37. Glycidnitrat, $C_3H_5NO_4$ (Nitroglycid)
38. Glykoldinitrat, $C_2H_4N_2O_6$ (Nitroglykol)
39. Guanidinperchlorat, $CH_6N_3O_4Cl$
40. Guanidinpikrat, $C_7H_8N_6O_7$
41. Hexamethylentriperoxiddiamin, $C_6H_{12}N_2O_6$
42. Hexanitroazobenzol, $C_{12}H_4N_8O_{12}$
43. Hexanitrodiphenyl, $C_{12}H_4N_6O_{12}$
44. Hexanitrodiphenylether, $C_{12}H_4N_6O_{13}$ (Hexanitrodiphenyloxid)

*) Me = Metall

45. Hexanitrodiphenylamin, $C_{12}H_5N_7O_{12}$ (Hexyl)
46. Hexanitrophenylaminkalium, $C_{12}H_4N_7O_{12}K$
47. Hexanitrodiphenylglycerinethermononitrat, $C_{15}H_9N_7O_{17}$
48. Hexanitrodiphenyloxamid, $C_{14}H_6N_8O_{14}$
49. Hexanitrodiphenylsulfid, $C_{12}H_4N_6O_{12}S$
50. Hexanitrodiphenylsulfon, $C_{12}H_4N_6O_{14}S$
51. Hexanitrosobenzol, $C_6N_6O_6$
52. Hexanitrostilben, $C_{14}H_6N_6O_{12}$
53. Hydrazinazid, H_5N_5
54. Hydrazinnitrat, $H_5N_3O_3$
55. Hydrazinperchlorat, $H_5ClN_2O_4$
56. Kaliumdinitrobenzofuroxan, $C_6H_3N_4O_7K$
57. Mannithexanitrat, $C_6H_8N_6O_{18}$
58. Methylnitrat, CH_3NO_3
59. Methyltrimethylolmethantrinitrat, $C_5H_9O_9N_3$ (Metrioltrinitrat)
60. Monoethanolamindinitrat, $C_2H_7N_3O_6$
61. Mononitroresorcinschwermetallsalze, $C_6H_3NO_4Me$*
62. Nitroisobutylglycerintrinitrat, $C_4H_6N_4O_{11}$
63. Nitromethylpropandioldinitrat, $C_4H_7N_3O_8$
64. Pentaerythrittetranitrat, $C_5H_8N_4O_{12}$ (Nitropenta. PETN, Pentrit)
65. 1,3-Propandioldinitrat, $C_3H_6N_2O_6$
66. Quecksilberfulminat, $Hg(CNO)_2$ (Knallquecksilber)
67. Silberazid, AgN_3
68. Silberfulminat, AgCNO
69. Tetramethylentetranitramin, $C_4H_8N_8O_8$ (Oktogen)
70. Tetramethylolcyclohexanolpentanitrat, $C_{10}H_{15}N_5O_{15}$
71. Tetramethylolcyclohexanontetranitrat, $C_{10}H_{14}N_4O_{13}$
72. Tetramethylolcyclopentanolpentanitrat, $C_9H_{13}N_5O_{15}$
73. Tetramethylolcyclopentanontetranitrat, $C_9H_{12}N_4O_{13}$
74. Tetranitroacridon, $C_{13}H_5N_5O_9$
75. Tetranitroanilin, $C_6H_3N_5O_8$
76. Tetranitroanisol, $C_7H_4N_4O_9$
77. Tetranitrodibenzo-1,3a,4,6a-tetraazapentalen, $C_{12}H_4N_8O_8$
78. Tetranitronaphthalin, $C_{10}H_4N_4O_8$
79. Tetraschwefeltetraimid, $S_4N_4H_4$
80. Tetraschwefeltetranitrid, S_4N_4 (Schwefelstickstoff)
81. 1-(5′-Tetrazolyl)-4-guanyltetrazenhydrat, $C_2H_8N_{10}O$ (Tetrazen)
82. Triaminotrinitrobenzol, $C_6H_6O_6N_6$
83. 1,3,5-Trichlor-2,4,6-trinitrobenzol, $C_6Cl_3N_3O_6$
84. Triethylenglykoldinitrat, $C_6H_{12}N_2O_8$
85. Trimethylentrinitramin, $C_3H_6N_6O_6$ (Hexogen)
86. Trinitroethanol, $C_2H_3N_3O_7$
87. Trinitroanilin, $C_6H_4N_4O_6$
88. Trinitroanisol, $C_7H_5N_3O_7$
89. Trinitrobenzoesäure, $C_7H_3N_3O_8$
90. Trinitrobenzol, $C_6H_3N_3O_6$
91. Trinitrochlorbenzol, $C_6H_2ClN_3O_6$
92. Trinitrokresol, $C_7H_5N_3O_7$
93. Trinitrokresolmetallsalze, $C_7H_4N_3O_7Me$*

*) Me = Metall

94. 1,3,8-Trinitronaphthalin, $C_{10}H_5N_3O_6$
95. Trinitrophenetol, $C_8H_7N_3O_7$
96. Trinitrophenol, $C_6H_3N_3O_7$ (Pikrinsäure)
97. Trinitrophenolmetallsalze, $C_6H_2N_3O_7Me$* (Pikrate)
98. Trinitrophenylethanolnitraminnitrat, $C_8H_6N_6O_{11}$
99. Trinitrophenylglycerinetherdinitrat, $C_9H_7N_5O_{13}$
100. Trinitrophenylglykolethernitrat, $C_8H_6N_4O_{10}$
101. Trinitrophenylmethylnitramin, $C_7H_5N_5O_8$ (Tetryl)
102. Trinitroresorcin, $C_6H_3N_3O_8$
103. Trinitrotoluol, $C_7H_5N_3O_6$
104. Trinitroxylol, $C_8H_7N_3O_6$
105. Zuckernitrate

Die hier aufgeführte Liste enthält nur die chemisch einheitlichen Stoffe und hat selbstverständlich keinen Ausschließlichkeitscharakter.

Explosionstemperatur

explosion temperature; température d'explosion

ist diejenige Temperatur, welche die Schwaden eines Explosivstoffes*) rechnerisch haben müßten, wenn er im eigenen Volumen in einem unzerstörbar und wärmeundurchlässig gedachten Einschluß explodiert. (→ Thermodynamische Berechnung der Umsetzung von Explosivstoffen). Die wirkliche Detonationstemperatur in der Stoßwellenfront eines detonierenden Sprengstoffes läßt sich nach der hydrodynamisch-thermodynamischen Theorie abschätzen; sie liegt höher.

Explosionswärme

explosion heat; chaleur d'explosion

Die Explosionswärme eines Sprengstoffes, eines sprengkräftigen Gemisches oder eines Pulvers bzw. Treibmittels ist die Wärme, welche beim explosiven Zerfall frei wird. Sie hängt vom thermodynamischen Zustand der Zerfallsprodukte ab. Für kalorimetrische Vergleiche angegebene Zahlen sind bezogen auf Wasser flüssig.

Man kann die Explosionswärme sowohl theoretisch errechnen als auch experimentell ermitteln. Rechnerisch ergibt sie sich als Differenz der Bildungsenthalpien der Komponenten des Explosivstoffs (bzw. des

*) Unter Zugrundelegung seiner → Explosionswärme und seiner Zerfallsreaktion einschließlich zu berücksichtigender Gasreaktions- und Dissozationsgleichgewichte.

Explosivstoffs selbst, wenn er chemisch einheitlich ist) und den Bildungsenthalpien der Explosionsprodukte (näheres darüber, sowie Tafeln zur Berechnung → „Thermodynamische Berechnung der Umsetzung von Explosivstoffen“). Die rechnerische Ermittlung hat den Vorteil, gut reproduzierbare Ergebnisse zu liefern, wenn die gleichen Bildungsenergien und der gleiche Rechenmodus zugrunde gelegt werden; vielfach werden die genannten Rechenoperationen über Computer-Programme durchgeführt. Die im Buch aufgeführten Werte für die Explosionswärme der verschiedenen Explosivstoffe wurden auf dem Computer des → ICT errechnet. Hierbei gilt als Definition die Enthalpiedifferenz der auf Normalbedingungen abgekühlten Schwaden zum Ausgangszustand (fester oder flüssiger Explosivstoff). Ebenso wie bei der Treibstoffberechnung (→ thermodynamische Berechnung der Umsetzung von Explosivstoffen) wird die Gleichgewichtseinstellung der zu berücksichtigenden Gleichgewichte (Wassergasgleichgewicht; Boudouard-Gleichgewicht; Dissoziationsgleichgewichte usw.) bis zur Abkühlung auf 1500 K in Rechnung gestellt, unterhalb jedoch als „eingefroren“ angenommen. Bei diesem Rechenansatz befindet man sich in guter Übereinstimmung mit experimentell erhaltenen Ergebnissen. *Im Gegensatz zu den früheren Auflagen* beziehen sich die Rechenwerte auf H_2O-flüssig als Reaktionsprodukt, sind also mit kalorimetrisch bestimmten Werten direkt vergleichbar.

Die bei der Detonation eines Sprengstoffs freiwerdende Wärme (→ Detonationswärme) kann von der berechneten und von der kalometrisch ermittelten Wärme etwas verschieden sein, da die Umsetzung unter „C-J“-Bedingungen (→ Detonation) anders sein kann.

In guter Annäherung werden in vereinfachter Form Explosionswärme-Werte für Treibmittel aus den → Partiellen Explosionswärmen (nachfolgendes Stichwort) der Treibmittel-Komponenten errechnet.

Die experimentelle Ermittlung erfolgt durch Explosion in einer kalorimetrischen Bombe. Unabhängig vom Bombenvolumen hält man durch eine entsprechende Einwaage im allgemeinen eine Ladedichte von 0,1 g/cm^3 ein. Weist ein Pulver eine ungenügende Zündfähigkeit auf, wie das bei Substanzen mit einer Explosionswärme unter 800 cal/g oft der Fall ist, mischt man ein „heißes“ Pulver mit bekannter Explosionswärme zu und berechnet aus der Explosionswärme der Mischung und des „heißen“ Pulvers die Explosionswärme der zu untersuchenden Pulver.

Partielle Explosionswärme

Bei Pulvern kann man nach *A. Schmidt* eine vereinfachende Abschätzung der zu erwartenden Explosionswärme vornehmen, wenn man den Pulverkomponenten sogenannte „partielle Explosionswärmen" zuordnet. Reinen Kohlenstoffträgern, z. B. → Stabilisatoren, wie Diphenylamin, werden negative partielle „Explosionswärmen" zugeordnet. Die Berechnung gestaltet sich nunmehr einfach nach der Mischungsregel, je nach Prozentsatz der Pulverkomponenten.

Eine Tabelle gibt einige derartige Werte wieder. Der Wert für das sauerstoffüberschüssige Nitroglycerin liegt höher als dessen Explosionswärme, da der Sauerstoffüberschuß mit Kohlenstoff aus anderen Pulverkomponenten als verwertet gilt.

Tabelle 8. Werte für die partielle Explosionswärme

Substanz	Kcal/kg	kJ/kg
Akardit I	−2 283	− 9 559
Akardit II	−2 300	− 9 630
Akardit III	−2 378	− 9 957
Ammoniumnitrat	+1 450	+ 6 071
Bariumnitrat	+1 139	+ 4 769
Bariumsulfat	+ 132	+ 553
Butantrioltrinitrat (BTN)	+1 400	+ 5 862
Bleiacetylsalicylat	− 857	− 3 588
Bleiethylhexoat	−1 200	− 5 024
Bleisalicylat	− 752	− 3 149
Bleistearat	−2 000	− 8 374
Bleisulfat	+ 150	+ 628
Campher	−2 673	−11 192
Candelilla-Wachs	−3 000	−12 560
Centralit I	−2 381	− 9 969
Centralit II	−2 299	− 9 626
Centralit III	−2 367	− 9 911
Diethylnitramindinitrat (DINA)	+1 340	+ 5 610
Diethylphthalat	−1 760	− 7 369
Diethylsebacat	−2 260	− 9 463
Diamylphthalat (DAP)	−2 187	− 9 157
Dibuthylphthalat (DBP)	−2 071	− 8 671
Dibuthyltartrat (DBT)	−1 523	− 6 377

*) Näheres siehe: Dr.-Ing. *A. Schmidt*, Zeitschrift für das gesamte Schieß- und Sprengstoffwesen 29, 259, 296 (1934). *Médard*, Mém. de l'art. française *28*, 415–492 (1954).

Substanz	Kcal/kg	k J/kg
Dibuthylsebacat (DBS)	−2 395	−10 028
Diglykoldinitrat	+1 030	+ 4 313
Diisobutyladipat (DIBA)	−2 068	− 8 658
Dinitrotoluol (DNT)	− 148	− 620
Dioctylphthalat (DOP)	−2 372	− 9 931
Diphenylamin	−2 684	−11 238
Diphenylharnstoff	−2 227	− 9 324
Diphenylphthalat	−2 072	− 8 675
Diphenylurethan	−2 739	−11 468
Ethylphenylurethan	−1 639	− 6 862
Glykol	− 889	− 3 727
Graphit	−3 370	−14 110
Kaliumnitrat	+1 434	+ 6 004
Kaliumsulfat	+ 300	+ 1 256
Kohlenstoff	−3 330	−13 940
Kupfersalicylat	−1 300	− 5 443
Kupfersalicylat (basisch)	− 900	− 3 768
Methylmethacrylat (MMA)	−1 671	− 6 996
Metrioltrinitrat	+1 189	+ 4 978
Nitrocellulose: 12,14 % Stickstoff	+ 892	+ 3 735
12,2 % Stickstoff	+ 900	+ 3 768
12,6 % Stickstoff	+ 956	+ 4 003
13,15 % Stickstoff	+1 033	+ 4 325
13,25 % Stickstoff	+1 047	+ 4 384
13,4 % Stickstoff	+1 068	+ 4 472
Nitroglycerin	+1 757	+ 7 474
Nitroglykol	+1 785	+ 7 357
Nitroguanidin	+ 721	+ 3 019
Nitropenta	+1 465	+ 6 134
Pentaerythrittrinitrat (PETRIN)	+1 233	+ 5 163
Polyethylenglykol	−1 593	− 6 670
Polymethacrylat (PMA)	−1 404	− 5 879
Polyvinylnitrat	+ 910	+ 3 810
Triacetin	−1 284	− 5 376
Triglykoldinitrat	+ 750	+ 3 140
Trinitrotoluol	+ 491	+ 2 056
Vaseline	−3 302	−13 825

Auch diese Zahlen beziehen sich auf H_2O-flüssig als Reaktionsprodukt.

FAE – Fuel Air Explosives, Brennstoff-Luft Sprengstoffe, Druckwellensprengstoffe

Hochwirksamer Sprengstofftyp, bei dem ein Brennstoff-Luft-Gemisch zur Detonation gebracht wird. FAE wurden Anfang der siebziger Jahre

in der U. S. Naval Air Warfare Center Weapons Division NAWCWPNS, Kalifornien, entwickelt und gelten als die stärksten nichtnuklearen chemischen Sprengstoffe.

Als Brennstoffe dienen in erster Linie Ethylenoxid (EO) oder Propylenoxid (PO). Diese werden durch Sprengladungen vernebelt und nach der Durchmischung mit Luft gezündet. Bei der intramolekularen Reaktion des Brennstoffs mit Luftsauerstoff kommt es zu einer Detonation mit Geschwindigkeiten um die 2000 m/s. Die entstehende Druckwelle übersteigt dabei an Effektivität bei gleicher Masse die von TNT um mehr als das Fünffache.

FAE werden in einem definierten Abstand über Grund gezündet, was eine nuklearwaffenähnliche Druckwellenausbreitung und atompilzartige Rauchsignatur nach sich zieht. Der im September 2007 von Russland erprobte, stärkste konventionelle Sprengkörper der Gegenwart enthält zusätzlich große Mengen an Metallpulver und generiert so aus über 7 Tonnen FAE - Sprengstoff ein TNT Equivalent von 44 Tonnen.

Durch die rasche Oxidation des umgebenden Sauerstoffs entsteht eine sehr ausgeprägte Saugphase, was mit der Bezeichnung „Vakuumbombe“ zum Ausdruck gebracht wird. Einsatzfeld der FAE ist die rasche Beseitigung von AP- (Antipersonen) Minen und Erzeugung großflächig wirksamer Druckwellen.

Die von vielen Wetterbedingungen wie Wind, Nebel, Regen abhängige Verteilung der Brennstoffwolke steht einer zivilen Anwendung von FAE bisher im Wege. Außerdem sind EO bzw. PO toxisch und cancerogen, was in den letzten fünfzehn Jahren zur Entwicklung ungiftiger Single Event FAE- Brennstoffe geführt hat. (*siehe → Thermobare Sprengstoffe*).

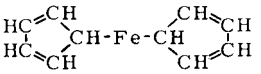
Fallhammer

fallhammer; mouton de choc

Fallhammer-Apparate dienen zur Ermittlung der → Schlagempfindlichkeit von Explosivstoffen.

Ferrocen

ferrocene; ferrocène; Bis-cyclopentadienyl-Eisen



Bruttoformel: $C_{10}H_{10}Fe$
Mol.-Gew.: 186,0

Sauerstoffwert: –227,9 %
Bildungsenergie: +197,1 kcal/kg = +825,1 kJ/kg
Bildungsenthalpie: +181,1 kcal/kg = +758,4 kJ/kg

Ferrocen gehört zu Abbrand-moderierenden Zusätzen, insbesondere für → Verbundtreibsätze. Für AP haltige HTPB und CTPB Compositreibstoffe sind Ferrocene hochwirksame Abbrandmodifikatoren. Auf Grund seiner geringeren Migrationstendenz und besseren Löslichkeit wird für HTPB gebundene Treibstoffe vor allem das flüssige 2,2'-Bis (ethylferrocenyl)propan mit Handelsnamen auch Catocen® oder PlutocenEFP® genannt eingesetzt. Von der SNPE (jetzt SME) stammt die Entwicklung eines am HTPB über einen Spacer gebundenen Ferrocenmoleküls das Butacen®. Durch die polymere Bindung wird die Migrationstendenz des Ferrocens beim Butacen® vollständig unterdrückt. Der einsetzbare Gehalt an wirksamen Abbrandmodifikator ist jedoch deutlich geringer.

Feststoff-Raketen

solid propellant rockets; roquettes à propergol solide

enthalten – im Gegensatz zu Flüssigkeitsraketen – das Treibmittel in fester Form. Nach der Anzündung brennt der Treibsatz ab; eine Unterbrechung oder Steuerung der Verbrennung ist nicht möglich (für gewisse Möglichkeiten: → Hybrids). Verlauf und Geschwindigkeit des Abbrandes werden durch Formgebung (Stirn- bzw. Zigarrenbrenner, Innenbrenner, Allseitsbrenner bzw. kompliziertere Profilgebungen) und die Zusammensetzung des Festtreibstoffes, durch Korngrößen seiner Komponenten und durch besondere beschleunigende oder verlangsamende Zusätze beeinflußt. Die Treibladung muß sorgfältig auf Rißfreiheit überprüft werden, da der Abbrand sonst ungleichmäßig erfolgen würde. Bei kammerwandgebundenen Innenbrennern ist ferner auf gute Bindung zwischen Brennkammerwand und Treibsatz zu achten (→ case bonding).

Der Vorteil der Feststoff-Raketen ist ihre schnelle Einsatzbereitschaft, lange Lagerfähigkeit und einfache Konstruktion.

Der Abbrandprozeß im Raketenmotor wird beeinflußt durch:die thermodynamischen Leistungsdaten des Treibstoffs (→ Thermodynamische Berechnung),

von der Formgebung des Treibstoffkörpers („grains") (→ Abbrandgeschwindigkeit),

den Druckeinfluß auf die Brenngeschwindigkeit.

Er wird mathematisch beschrieben durch den „Druckexponenten"; er kann bei modernen Treibmitteln Null oder sogar negativ werden („Plateau"-„Mesa"-Abbrände; → Abbrandgeschwindigkeit), ist jedoch sonst meistens = 1.

Die Druckabhängigkeit der Abbrandgeschwindigkeit kann nicht durch eine einzige Gleichung über den gesamten Bereich beschrieben werden; innerhalb von Teilbereichen kann man die Gleichung von *Saint-Robert* oder *Vieille* anwenden:

$r = a\, p^{\alpha}$ (1)

r: die Brenngeschwindigkeit senkrecht zur Brenn-Ebene
p: Druck
α: Druckexponent
a: Konstante.

(→ auch Abbrandgeschwindigkeit, *Charbonnier*-Gleichung.) Zu jeder Zeit der Abbrandreaktion muß Gleichheit bestehen zwischen der Gasbildung

$r \cdot f_r \cdot \varrho$ (2)

f_r: Brennfläche
ϱ: Dichte des Treibstoffs

und der durch die Düse austretenden Gasmenge

$p \cdot f_m \cdot C_D$ (3)

f_m: Düsenquerschnitt
C_D: Massenflußkoeffizient.

Das Verhältnis von Düsenquerschnitt zur Brennfläche f_m/f_r wird „Klemmung“ genannt. Durch Gleichsetzen von (2) und (3) kann man Gleichung (1) umformen in

$$p = \frac{a}{C_D}\, \varrho K^{\frac{1}{1-\alpha}} \quad (4)$$

Gleichung (4) erlaubt, das Druck-Zeit-Diagramm aufzutragen, wenn a, C_D und ϱ bekannt sind und der Verlauf der Größe K (Klemmung) mit der Brennzeit angenommen werden kann.

Abweichungen im Druck-Zeit-Diagramm können bewirkt werden

durch Druckabfall am Treibstoff, (*Bernoulli*-Gleichung durch → erosiven Abbrand,

durch das Anzündungssystem und

durch irregulären Abbrand kurz vor Brennschluß.

Feuerwerkssätze

pyrotechnical compositions; compositions pyrotechniques

sind nicht explosiv abbrennende, aus → Sauerstoffträgern und → Brennstoffen zusammengesetzte Mischungen zur Abgabe von hellem bzw. gefärbtem Licht (→ Bengalische Feuer), zur Entwicklung von Wärme (→ Thermit), von Rauch, auch gefärbtem Rauch und zur Erzeugung akustischer Effekte (Heul-, Pfeif- und Knallsätze).

Feuerwerkspulver

→ Schwarzpulver.

Feuerwerkspulver wird mit 75, 70 und 60 % Kalisalpeter in zahlreichen Körnungsabstufungen(0,15–0,43 mm,0,3–1,5 mm,2–4 mm,4–8 mm) und als Mehlpulver geliefert.

Feuerwerkszündschnüre

Feuerwerkszündschnüre werden in der Pyrotechnik zur Zündung von pyrotechnischen Sätzen in Raketen, Knallkörpern o. ä. verwendet. Für Sprengarbeiten dürfen sie nicht eingesetzt werden. Aufbau und Herstellung der Feuerwerkszündschnur ähnelt der → Schwarzpulveranzündschnur, von der sie sich darin unterscheidet, daß die Rohschnur (Pulverseele mit Textilumspinnung) zur Stabilisierung mit Leim überzogen wird. Die Schnüre werden in kurzen, etwa 4 bis 6 cm messenden Stückchen geliefert; ⌀ 3,0–4,7 mm.

Filmeffektzünder

bullet hit squib

werden für die Simulation von Geschoßeinschlägen in Filmszenen eingesetzt.

Es handelt sich dabei um spezielle, in unterschiedlichen Stärken geladene Anordnungen von kleinen elektrischen Zündern, die einen mit wenigen Milligramm bemessenen Satz von → Bleiazid, → Bleistyphnat, → Diazodinitrophenol und auch Tetrazolderivaten enthalten.

Der jeweils verwendete → Initialexplosivstoff bedarf einer speziellen Oberflächenbehandlung und → Phlegmatisierung, um eine, bei solchen Effekten unerwünschte Rauchentwicklung und Flammbildung zu vermeiden. Ein Verfahren besteht z. B. durch die Zumischung von Erdalkalisulfaten oder durch Mikroverkapselung der Sprengstoffkristalle. Diese pyrotechnischen Gegenstände werden, auch mit einem schwermetallfreien Knallsatz, durch die österreichische Firma J. Köhler Pyrotechnik gefertigt (www.pyrochemie.at).

Flüssige Sprengstoffe

liquid explosives; explosifs liquides

Zahlreiche explosionsfähige Stoffe sind flüssig. Dazu gehören in erster Linie viele Salpetersäureester, wie Nitroglycerin, Nitroglykol, Diglykoldinitrat, Triglykoldinitrat, Butantrioltrinitrat, um nur einige zu nennen. Die meisten sind so schlagempfindlich, daß sie durch Aufsaugen-

lassen oder Gelatinieren mit Nitrocellulose in den weniger empfindlichen festen Zustand übergeführt werden; wie bekannt, waren solche Prozesse das Thema der Pionierpatente von *Alfred Nobel*. Die Schlagempfindlichkeit von explosionsgefährlichen Flüssigkeiten wird wesentlich erhöht, wenn sie Luftbläschen enthalten, wie *F. Roth* nachweisen konnte. Das Gelatinieren mit Nitrocellulose setzt die kleinste zur Explosion führende Schlagarbeit in der Fallhammerprobe bei Nitroglycerin bereits von 0,02 kp m auf 0,2 kp m herauf.

Wesentlich unempfindlicher ist z. B. → Nitromethan; der praktischen Verwendbarkeit zu Sprengzwecken standen bisher Preis, Verdampfbarkeit und die kompliziertere Hantierung mit Flüssigkeiten entgegen; in den USA wurde jedoch in unterirdischen Vorläufer-Sprengungen zu großen → Nuklear-Sprengungen Nitromethan verwendet, das durch die niedergebrachte Bohrung geladen werden konnte („Pre-Gondola“ u. a.); → Nitromethan mit 5 % Ethylendiamin ist in den USA als „PLX“ für militärische Zwecke vorgesehen.

Ferner wurde vorgeschlagen, flüssige Sauerstoffträger (hochkonzentrierte Salpetersäure, Stickstofftetroxid, Tetranitromethan) erst am Verbrauchsort oder auch in der Waffe kurz vor deren Einsatz mit Kohlenstoffträgern auf etwa Sauerstoff-Gleichheit (→ Sauerstoff-Bilanz) zu mischen, um so einen gefahrloseren Transport für die Sprengstoffe zu haben. Bekannt wurden die Panklastite (Stickstofftetroxyd mit Nitrobenzol, Benzol, Toluol oder Benzin); Hellhoffite (konzentrierte Salpetersäure mit Dinitrobenzol oder Dinitrotoluol). Ein solches Verfahren ist noch nach dem 2. Weltkrieg in Österreich unter dem Namen „Boloron“ propagiert worden. Die Sprengkraft dieser Gemische ist sehr groß. Wegen der ätzenden Komponenten ist die Handhabung aber sehr unangenehm; nach dem Mischen sind die Sprengstoffe außerordentlich empfindlich; sie haben sich daher in der Praxis nicht durchsetzen können.

Eine Mischung kurz vor dem Einsatz ist auch beim → „Astrolite“ vorgesehen.

Schlammartige Ammoniumnitrat-Sprengstoffe → Sprengschlamm (Slurries) und → Emulsions-Sprengstoffe.

Flüssig-Luft-Sprengstoffe

liquid oxygen explosives; explosifs à oxygène liquide; Oxyliquit

entstehen durch Tränken von Patronen aus brennbaren aufsaugfähigen Materialien, wie Holzmehl, Korkmehl, Torfmull, → Carben u. a. in flüssigem Sauerstoff. Sie müssen sofort nach dem (vor Ort vorzunehmenden) Tränken und Laden abgetan werden. Sie stellen zwar energiereiche und außerdem billige Sprengmittel dar; ihre Anwendungstechnik läßt jedoch ein rationelles Arbeiten, wie das Sprengen

größerer Serien in einem Zündgang, nicht zu. Sie sind daher aus der Sprengpraxis fast völlig verschwunden.

Flüssig-Treibstoff-Raketen

(→ Monergole, Hypergole)

liquid propellant rocket; roquettes à propergol liquide

Die Kombination von miteinander reagierenden Flüssigkeitspaaren (Brennstoffen und Oxidationsmitteln im weitesten Sinne) ergibt Energie in Form heißer Reaktionsgase, deren → Ausströmgeschwindigkeit den → Schub aufbaut. Die kalorische Ausbeute und der mögliche spezifische Impuls können höher liegen als bei Einstoffsystemen bzw. homogenen Gemischen, also gegenüber Monergolen, homogenen Festtreibstoffen und „Composite Propellants".

Beispiele der Brennstoffe sind: Alkohol, Kohlenwasserstoffe, Anilin, Hydrazin, Dimethylhydrazin, flüssiger Wasserstoff, flüssiges Ammoniak.

Beispiele für Oxidiermittel sind: flüssiger Sauerstoff, Salpetersäure, hochprozentiges H_2O_2, Stickstofftetroxyd, flüssiges Fluor, Stickstofftrifluorid, Chlortrifluorid.

Gewisse Stoffpaare sind → „hypergolisch".

Fraunhofer I. C. T

Bedeutet die Kurzbezeichnung des Fraunhofer-Instituts für Chemische Technologie, Pfinztal-Berghausen bei Karlsruhe.

Das Institut hat durch seine Arbeiten und besonders durch seine Jahrestagungen weltweit Ruf erlangt. Eine Liste der Tagungsberichte mit den Arbeitstiteln der Tagungen von 1970–1998 findet sich im Literaturanhang (www. ICT.Fraunhofer.de).

„free-flowing"-Sprengstoffe

sind nicht-patronierte gewerbliche Sprengstoffe, welche in das Bohrloch geschüttet werden können. Die Lieferform des Ammonsalpeters in porösen Prills ermöglichte die „free-flowing"-Anwendung von → ANC-Sprengstoffen.

Freie Radikale

sind Molekülbruchstücke von kurzer Lebensdauer aus stabilen Molekülen, die infolge hoher Reaktionstemperatur (auch infolge sonstiger

Energieabsorption, wie durch Bestrahlung) durch Dissoziation entstehen. Insbesondere beim Raketenabbrand ist bei den dort zu berücksichtigenden Temperaturen die Dissoziation der Gase nicht zu vernachlässigen. Die Bildung freier Radikale infolge Dissoziation wirkt sich leistungsmindernd aus und muß bei der thermischen Ermittlung des → spezifischen Impulses in Rechnung gestellt werden.

Auf der Suche nach besonders leistungsfähigen Reaktionen (→ Flüssig-Treibstoff-Raketen) hat man auch daran gedacht, Radikale durch Einfrieren auf Tiefst-Temperaturen zu konservieren und deren Rekombinationsenergie mit auszunutzen.

Gasdruck

gas pressure; pression de gaz

Als Gasdruck bezeichnet man den in einer Waffenkammer auftretenden Maximaldruck; er hängt weitgehend von der betreffenden Waffe und dem gewählten Pulver ab. Zur Gasdruckbestimmung dient für allgemeine Routineprüfzwecke ein Crusher (= „Meßei“). (Kupferzylinder oder -pyramide, dessen Stauchung ein Maß für den Gasdruck bildet.)

Eine vollständige Kurve des Gasdruckverlaufs kann mit Hilfe von Piezoquarzen oder anderen Druckgebern in Verbindung mit einem Oszillographen ermittelt werden → Ballistische Bombe.

Gaserzeugende Ladungen

gas generating agents; charges génératrices de gaz

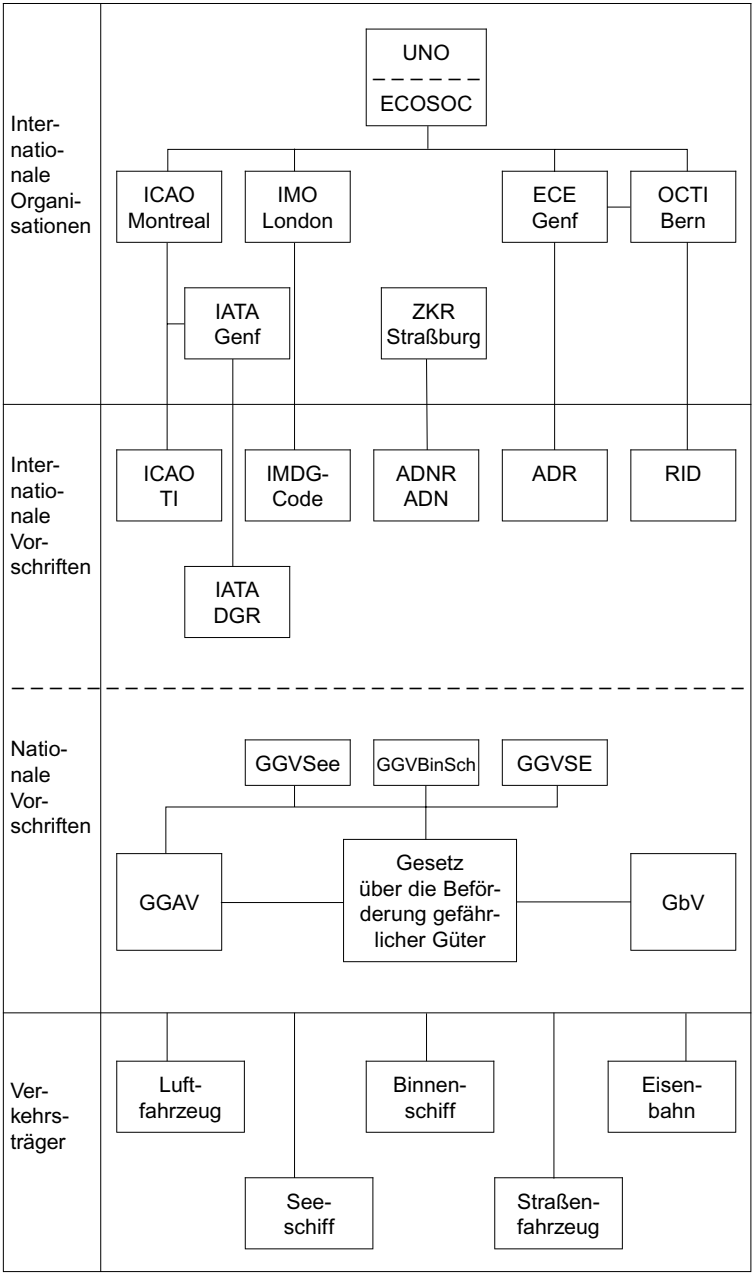
Gasgeneratoren werden in der Raumfahrttechnik, im Raketenbau für Ausstoßladungen, aber auch zur Absicherung von Insassen bei Autounfällen benötigt (→ Airbag). Die hierbei nach der Zündung freigesetzten Gase sollen möglichst nur Stickstoff (und Wasser) und keine giftigen oder aggressiven Komponenten (CO, NO, N_xO_y; HCL etc.) enthalten. Wichtig wurden hierfür Umsetzungen von Natriumazid mit kohlenstofffreien Reaktanden (Oxydatoren) wie NH_4CLO_4, KNO_3, Fe_2O_3 u. a. m.

Gefahrgutverordnungen

Gefahrgutverordnung für Straße und Eisenbahn (GGVSE)
Gefahrgutverordnung See (GGVSee)
Gefahrgutverordnung Binnenschiffahrt (GGVBinsch)

Die Gefahrgutvorschriften sind international harmonisierte Vorschriften (→ ADR, → RID, → IMDG Code, → ADNR, → ICAO TI) für den

Tabelle 9. Gefahrgut-Transport-Organisation



Transport gefährlicher Güter. Alle Stoffe und Gegenstände, die definierte explosive Eigenschaften aufweisen, werden der Klasse 1 „Explosivstoffe und Gegenstände mit Explosivstoff“ zugeordnet. Für eine Zuordnung zu einer der 6 → Unterklassen der Klasse 1 wird das Gefahrverhalten der Stoffe oder Gegenstände u. a. in ihrer Versandverpackung untersucht. Diese Untersuchung geschieht nach den in den *„Recommendations on the Transport of Dangerous Goods; Manual of Tests and Criteria, United Nations“* beschriebenen Prüfmethoden. Die für die Zuordnung von Sprengstoffen, Zündmitteln, Treibmitteln, pyrotechnischen Sätzen und Gegenständen zuständige Behörde in Deutschland ist die → BAM (für den militärischen Bereich das → WIWEB).

Die Unterklassen 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 und 1.6 dienen der Charakterisierung der explosiven Eigenschaften der Stoffe und Gegenstände der Klasse 1 bezüglich ihrer Wirkung und teilweise auch ihrer Empfindlichkeit. Die 13 Verträglichkeitsgruppen A, B, C, D, E, F, G, H, J, K, L, N und S spiegeln überwiegend die spezifische Art der Explosivstoffe wieder. Der Klassifizierungscode, besteht aus Unterklasse und Verträglichkeitsgruppe (z. B. 1.1D für einen massenexplosionsfähigen detonierenden Explosivstoff oder einen Gegenstand mit solchem Stoff), charakterisiert die Güter der Klasse 1.

Mit der Zuordnung zu einer Unterklasse und einer Verträglichkeitsgruppe ergeben sich bestimmte, in den Gefahrgutverordnungen festgelegte Regelungen für die Beförderung dieser Güter.

Weitere Stichwörter in diesem Zusammenhang:
→ Explosionsfähiger Stoff
→ Explosionsgefährlicher Stoff
→ Lagerung von Explosivstoffen, Lagergruppen

Gefrieren von Nitroglycerinsprengstoffen

Nitroglycerin kann bei Temperaturen von +10 °C gefrieren. Die gefrorenen Patronen sind nicht handhabungssicher, und die Auftauoperation mit behelfsmäßigen Mitteln ist gefährlich. Man begegnet der Gefrierbarkeit durch Zusatz von Nitroglykol zum Nitroglycerin. Mit low freezing (L. F.) explosives werden Sprengstoffe bezeichnet, die bei 35 °F = 1,7 °C noch arbeitsfähig sind, für extra-low-freezing (E. L. F.) liegt die Grenztemperatur bei 0 °F = –17,8 °C.

Gelamon 22, 30 und 40

Handelsnamen für gelatinöse Gesteins-Sprengstoffe auf Basis → Ammonsalpeter, → Nitroglykol, → Nitrocellulose u. a. der Anhaltinischen Chemischen Fabriken (ACF), Schönebeck-Elbe.

	22	30	40
Dichte g/cm^3	1,4	1,4	1,4
Detonationsgeschw. m/s	5000	5500	5800
weight strength %	80	82	84

Gelatinöse Sprengstoffe

→ Ammonsalpeter-Sprengstoffe und → Dynamite.

Gelignite

ist die Handelsbezeichnung im englischen Sprachraum für gelatinöse Nitroglycerin-Nitroglykol-basierende Sprengstoffe.

Geocord

ist der Handelsname für eine → Sprengschnur der WASAGCHEMIE Sythen GmbH. Sie enthält 20 g → Nitropenta pro Meter und dient für seismische Messungen.
Kennzeichnende Farbe: rot

Geolit 40

Handelsname eines 40 % Sprengöl (→ Nitroglycerin; → Nitroglykol) enthaltenden gelatinösen Spezialsprengstoffs für seismische Untersuchungen. Er wird in einer Menge von ca. 1 kg in verschraubbaren Plastik-Patronen geliefert.
Hersteller: Anhaltinische Chemische Fabriken (ACF), Schönebeck/Elbe.

Dichte: 1,5 g/cm^2
Detonationsgeschw.: 6000 m/s
weight strength: 74 %

Geosit 3

Sprengtechnische Daten	
Beschaffenheit	gelatinös, schwarzbraun
Sauerstoffwert	0
Normalgasvolumen	766 l/kg
Explosionswärme (H_2O gas)	1096 kcal/kg = 4589 kg J/kg
Spezif. Energie	104 mt/kg = 1020 kJ/kg
Energieniveau	150 mt/l = 1470 kJ/kg
Dichte	1,50 g/cm^3
Bleiblockausbauchung	350 cm^3
relat. weight strength	81 %
Detonationsgeschwindigkeit freiliegend	6100 m/s
Detonationsgeschwindigkeit unter Einschluß	6100 m/s
Stauchung n. *Kast*	7,8 mm
Stauchung n. *Heß*	zertrümmert
Schlagempfindlichkeit	0,3 kp m = 3 Nm

Geosit 3 ist der Handelsname für einen seismischen Spezialsprengstoff der WASAGCHEMIE Sythen GmbH. Er ist ein gelatinöser Sprengstoff auf Basis von Nitroglykol und Ammonsalpeter, der sensibilisierende Zusätze enthält; er detoniert auch unter hohen hydrostatischen Wasserdrucken (bis 360 bar) vollständig und überträgt die Detonation sicher von Patrone zu Patrone. Er eignet sich deshalb für seismische Sprengungen in tiefen Bohrlöchern sowie bei Bohrlochtorpedierungen bei der Erdöl- und Wasser-Gewinnung. Die besonderen Eigenschaften des Geosits wurden durch sensibilisierende Zusätze erreicht.

Infolge der hohen Detonationsgeschwindigkeit auch ohne jeden Einschluß ist er auch zur Zerkleinerung von grobem Haufwerk durch Auflegersprengung geeignet. Sehr bewährt hat sich zur Zerkleinerung großer Knäpper das Absprengen mit Geosit in stark verkürzten Bohrlöchern; Knall und Sprengstoffaufwand sind dann wesentlich geringer. Geosit ist ferner geeignet zur sicheren Initiierung hochunempfindlicher Sprengstoffe, wie der → Sprengschlämme (Slurries).

Als Geosit 3 K wird der Sprengstoff in verschraubbaren Kunststoffrohren patroniert geliefert.

Gesteinssprengstoffe

Gesteinssprengstoffe sind gewerbliche Sprengstoffe, welche für Sprengarbeiten ohne Schlagwettergefahr zugelassen sind. Sie werden durch Farbzusatz (→ Caput mortuum) in der Masse rot gefärbt und durch rote Farbe des Patronen- und Schachtelumschlag-Papiers gekennzeichnet (→ Wettersprengstoffe).

Gewerbliche Sprengstoffe

industrial explosives; explosifs pour usage industriel

sind Sprengstoff-Gemische, die im Bergbau (Kohle, Salz, Erz), für Straßenbauten, Unterwassersprengungen, Steinbrüche, Forst- und Landwirtschaft u. a. eingesetzt werden. Ihre Zusammensetzung wird je nach Einsatzzweck gewählt, Einzelheiten hierzu → Ammonsalpeter-Sprengstoffe, ANC-Sprengstoffe, flüssige Sprengstoffe, Sprengschlamm, Flüssig-Luft-Sprengstoffe, Chloratsprengstoffe, Wettersprengstoffe, Gesteinssprengstoffe; → Kennzeichnung.

Gießen von Sprengladungen

explosive casting; coulée de charges de projectiles

Da die → Brisanz eines Sprengstoffes wesentlich von der Ladedichte abhängt, wendet man insbesondere im militärischen Bereich die Sprengstoffe mit der höchstmöglichen Ladedichte an. Diese wird dabei durch Gießen oder durch Pressen mit hohen Drucken (1000 bar $\approx$ kp/cm^2 und mehr) erreicht. Das Pressen erfordert technischen Aufwand, und eine gegossene Füllung ist der mehr oder weniger komplizierten Innenform von Geschossen, Minen und Bomben leichter anzupassen.

Seine Gießbarkeit bei 80 °C hat dem Trinitrotoluol seine überragende Stellung in der Militärtechnik verschafft. Da beim Erstarren des flüssigen Sprengstoffes eine erhebliche Kontraktion eintritt, muß während des Gießprozesses dafür gesorgt werden, daß zu allen noch nicht erstarrten Stellen des Gusses ungehinderter Nachfluß des flüssigen Gutes erfolgen kann; dies geschah durch „Stochern“ von Hand. Inzwischen sind mehrere Gießverfahren entwickelt worden, welche die Handarbeit vermeiden und lunkerfreie Güsse erzielen.

Reines Trinitrotoluol neigt zum Ausbilden sehr langnadeliger Kristalle von bröckeliger, nicht die maximale Dichte aufweisender Struktur. Hier muß man durch Anwesenheit zahlreicher Kristallisationskeime, also durch Verteilen von festem TNT, für die Ausbildung eines feinkristallinen, mechanisch festen und dichten Gusses sorgen. *A. B. Bofors*

schlägt zur Strukturverbesserung den Zusatz von → Hexanitrostilben vor.

Viele Gemische fester Stoffe im geschmolzenen Stoff sind durch den Gießprozeß ausgezeichnet laborierbar → Amatole, Composition B, Torpex, Tritonal u. a.).

Gießen von Treibsätzen

propellant casting; coulée de propergols

Auch in der Feststoff-Raketentechnik ist bei gießfähigen Gemischen das Formgebungsproblem mit geringem maschinellen Aufwand zu lösen.

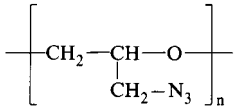
Im Gegensatz zur Gießtechnik der Sprengstoffe kann man keine Verfahren verwenden, welche von Schrumpfung begleitet werden und zu spröden Kristallagglomeraten führen.

Es gibt zwei Wege: die katalytisch beeinflußte Härtung von Polykondensaten der Kunststofftechnik, wobei das sich bildende Kunststoffgel als Brennstoffkomponente zum mechanisch beigemischten Oxydiermittel dient (→ composite propellants), oder:

bei → double-base-Kompositionen wird ein Nitrocellulose-Granulat in einer Form durch Einwirkenlassen von flüssigen Salpetersäureestern zu einem homogenen Gel verquollen.

Glycidylazidpolymer

Glycidyl Azide Polymer; GAP



hellgelbe, viskose Flüssigkeit
Bruttoformel der Struktureinheit: $C_3H_5N_3O$
Mol.-Gew. der Struktureinheit: 99,1
Bildungsenergie: +1291,4 kJ/kg = +308,4 kcal/kg
Bildungsenthalpie: +1178,8 kJ/kg = +281,6 kcal/kg
mittleres Molekulargewicht: 2000
Sauerstoffwert: –121,1 %
Stickstoffgehalt: 42,40 %
spezifische Energie: 79,5 mt/kg = 780 kJ/kg
Normalgasvolumen: 1052 l/kg
Explosionswärme (H_2O fl.): 3156 kJ/kg = 754 kcal/kg
Spezif. Energie: 77,8 mt/kg = 763 kJ/kg
Dichte: 1,29 g/cm^3
Viskosität: 4280 cP

Verpuffungstemperatur: 216 °C
Schlagempfindlichkeit: 7,9 Nm = 0,80 kpm
Reibempfindlichkeit: bei 353 N = 36 kp Stiftbelastung
keine Reaktion

Glycidylazidpolymer wird in einem Zweistufenprozeß hergestellt. Zuerst polymerisiert man Epichlorhydrin in Gegenwart von Bortrifluorid zu Polyepichlorhydrin. Dieses Polymer wird unter Verwendung von Dimethylformamid als Lösungsmittel mit Natriumazid bei erhöhter Temperatur umgesetzt, die anorganischen Anteile sowie das Lösungsmittel weitgehend entfernt und das Rohprodukt von niedermolekularen Bestandteilen gereinigt.

Das Glycidylazidpolymer wurde ursprünglich als → energetischer Binder für den Bereich der → Verbundtreibsätze in den USA entwickelt. Da diese sehr viel Gas liefernde Verbindung eine niedrige → Explosionstemperatur aufweist, wird sie in den letzten Jahren auch als energetisches Bindemittel in → LOVA-Treibmittelpulver und in Gasgeneratoren eingesetzt. Zudem besitzt es an ein hohes Potential für schnellbrennende Raketentreibstoffe.

Graphit

C
Atomgewicht: 12,01

dient zur Oberflächenglättung von Blättchenpulver und von Schwarzpulver.

Technische Reinheitsforderungen

Feuchtigkeit: nicht über	0,5 %
Reaktion:	neutral
Glührückstand in Natur-Graphit: nicht über	25 %
scharfkantige Bestandteile:	Null
Kieselsäure:	Null

Großbohrloch-Sprengverfahren

large-hole blasting; sautage à grand trou

Bei der Gewinnung von Steinen in offenen Steinbrüchen hat sich aus Rationalisierungsgründen mehr und mehr das Verfahren des einmaligen Einsatzes großer Sprengstoffmengen entwickelt.

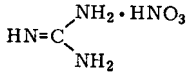
Im Großbohrloch-Verfahren werden parallel zur Bruchwand Reihen von senkrechten Bohrlöchern niedergebracht, welche Durchmesser von 60–150 mm und Längen über 12 m aufweisen (in den USA bis 300 mm ⌀). Diese Löcher werden mit Sprengstoff geladen, mit Besatzmaterial verdämmt und mittels Sprengschnur gezündet.

GSX

Billiges Gemisch aus Ammoniumnitrat, Wasser, Aluminiumpulver und Polystyrolklebstoff als Bindemittel. Einsatz in der 6,75 t schweren Freifallbombe BLU-82 („Daisy cutter", „Aerosolbombe"). Der Explosionsdruck, der in rund 1 m Höhe über Grund gezündeten Bombe erreicht 30 m um das Aufschlagzentrum bis zu 7 MPa. GSX wurde daher zur Minenräumung im Irak und zur Erzeugung starker Druckwellen für „Instant Helikopter Landezonen" im Dschungel Vietnams eingesetzt.

Guanidinnitrat

guanidine nitrate; nitrate de guanidine; Guanidinsalpeter



farblose Kristalle
Bruttoformel: $CH_6N_4O_3$
Mol.-Gew.: 122,1
Bildungsenergie: –726,2 kcal/kg = –3040,3 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –757,7 kcal/kg = –3172,2 kJ/kg
Sauerstoffwert: –26,2 %
Stickstoffgehalt: 45,89 %
Normalgasvolumen: 1098 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 585 kcal/kg = 2449 kJ/kg
(H_2O gas): 446 kcal/kg = 1868 kJ/kg
Spezif. Energie: 72,6 mt/kg = 712 kJ/kg
F.: 217 °C
Bleiblockausbauchung: 240 cm^3
Verpuffungstemperatur: keine; Abrauchen bei 315 °C
Schlagempfindlichkeit: bis 5 kp m = 50 Nm
keine Reaktion
Reibempfindlichkeit: bis 36 kp = 353 N Stiftbelastung
keine Reaktion
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest: 2,5 mm

Guanidinnitrat ist löslich in Alkohol und Wasser.

Guanidinnitrat ist das Vorprodukt zur Herstellung von → Nitroguanidin. Es entsteht durch Zusammenschmelzen von Dicyandiamid $(CNNH_2)_2$ und Ammonsalpeter.

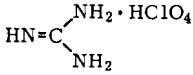
Guanidinnitrat ist verwendbar, um schmelzbare Mischungen zusammen mit Ammonsalpeter und anderen Nitraten ausfzubauen; solche Gemische sind in großer Zahl während des Krieges als Ersatz für

Sprengstoffe aus knappen Rohstoffen eingesetzt worden. Sie bedürfen jedoch im allgemeinen des Zusatzes von brisanten Sprengstoffen, wie Hexogen oder anderen.

Auch zum Einarbeiten in POL-Pulver und für Doublebase Treibstoffe und Gasgeneratoren ist Guanidinnitrat vorgeschlagen worden.

Guanidinperchlorat

guanidine perchlorate; perchlorate de guanidine

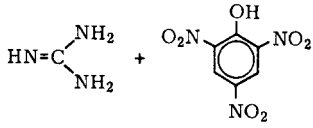


Bruttoformel: $CH_6N_3O_4Cl$
Mol.-Gew.: 159,5
Bildungsenergie: –442,9 kcal/kg = –1854,3 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –468,9 kcal/kg = –1963,1 kJ/kg
Sauerstoffwert: –5,01 %
Stickstoffgehalt: 26,35 %
Normalgasvolumen: 854 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1105 kcal/kg = 4624 kJ/kg
(H_2O gas): 965 kcal/kg = 4041 kJ/kg
Spezif. Energie: 107,7 mt/kg = 1056 kJ/kg
F.: 240 °C
Bleiblockausbauchung: 400 cm^3

Man gewinnt die Verbindung aus Guanidinhydrochlorid und Natriumperchlorat.

Guanidinpikrat

guanidine picrate; picrate de guanidine



gelbes feinkristallines Pulver
Bruttoformel: $C_7H_8N_6O_7$
Mol.-Gew.: 288,2
Bildungsenergie: –298,4 kcal/kg = –1248 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –319,9 kcal/kg = –1339 kJ/kg
Sauerstoffwert: –61 %
Stickstoffgehalt: 29,16 %
F. (Zersetzung): 318,5–319,5 °C
Verpuffungspunkt: 325 °C

Guanidinpikrat ist etwas löslich in Wasser und Alkohol.

Man erhält es beim Zusammenmischen der Lösungen von Guanidinnitrat und Ammoniumpikrat.

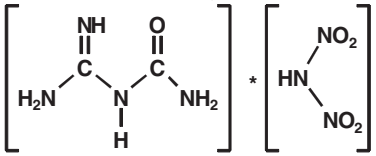
Guarmehl

guar gum; farine de guar

gemahlenes Endosperm der indischen Cyanopsis tetragonoloba, ein Polysaccharid aus einer Mannose-Hauptkette mit Galaktose-Seitenketten. Das Produkt geliert mit Wasser in der Kälte. Es wird gewerblichen pulverförmigen Sprengstoffen zugesetzt, wenn diese gegen eindringendes Wasser in feuchten Bohrlöchern geschützt werden sollen. Guarmehl baut durch Gelierung mit dem eindringenden Wasser eine Sperrschicht auf, die weiteres Eindringen verhindert → Wasserfestigkeit; → Sprengschlamm.

GUDN

Guanylureadinitramide; N-Guanylharnstoffdinitramid; FOX-12



Weiße Kristalle
Bruttoformel: $C_2H_7N_7O_5$
Mol.-Gew.: 209.12 g
Bildungsenergie: –332 kJ/mol
Bildungsenthalpie: –356 kJ/mol
Sauerstoffwert: –19.13 %
Normalgasvolumen: 785 l/kg
Explosionswärme (berechnet): 2998 kJ/kg (H_2O gas); 3441 kJ/kg (H_2O flüssig)
Dichte: 1.75 g/cm^3
Spezifische Energie: 950 kJ/kg
Schmelzpunkt: 215 °C

GUDN ist ein wenig empfindlicher Explosivstoff. Er wurde zuerst in Russland vom Mendelejev Institut, dann von der schwedischen FOI weiter entwickelt und zeichnet sich durch eine gute thermische Stabilität sowie eine geringe Löslichkeit in Wasser und Hygroskopizität aus. Einsatzgebiete sind Treibstoffe, Gasgeneratoren und LOVA-Anwen-

dungen. Die geringe Empfindlichkeit und gute Sauerstoffbilanz begünstigen den Einsatz in Gasgeneratoren, insbesondere Airbagformulierungen.

Gurdynamit

→ Dynamite.

Es wurde 1867 von *Nobel* als „Nobels Safety Powder“ hergestellt.

Halbleiter-Brücken-Zünder (SCB)

Semiconductor Bridge Igniter

Der Halbleiter-Brücken-Zünder ist ein Schichtzündmittel, dessen siliconbasierendes Glühbrückensubstart sich schon bei einem relativ geringen Stromimpuls in ein Plasma umsetzt. Dieses heiße Plasma reagiert mit dem, in der unmittelbaren Umgebung befindlichen, energetischen Material in der Form, dass eine Zündung/Umsetzung schon innerhalb weniger zehntel Mikrosekunden stattfindet. Die eigentliche, in der Regel auf ein Chip aufgebrachte Glühbrücke ist etwa 100 μm lang, 360 μm breit und hat eine Dicke von 2 μm .

Obwohl Halbleiter-Brücken-Zünder für die sichere Auslösung („all-fire“) nur etwa ein zehntel der Energie im Vergleich zu den herkömmlichen → Brückenzündern benötigen, weisen sie eine hohe Unempfindlichkeit gegenüber Streuströmen oder elektrostatischen Einwirkungen (ESD) auf.

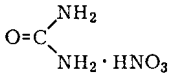
Die Halbleiter-Brücken-Zünder wurden Ende der achtziger Jahre von R. W. Bickes, Jr. und A. C. Schwarz in den Sandia National Laboratories, USA entwickelt.

Hansen-Test

Bei diesem im Jahre 1925 von *Hansen* zur Stabilitätsprüfung vorgeschlagenen Prüfverfahren werden von der zu untersuchenden Substanz je acht Proben auf 110 °C erhitzt und stündlich eine derselben dem Warmlagerofen entnommen, mit CO_2-freiem Wasser ausgeschüttelt und in dem Filtrat der pH-Wert bestimmt. Da die Zersetzung von Treibmitteln auf Salpetersäureester-Basis im allgemeinen mit einer Abspaltung von CO_2, das die potentiometrische Bestimmung stört, verbunden ist, sind die erhaltenen Ergebnisse unbefriedigend, weshalb dieser Test heute kaum noch Anwendung findet.

Harnstoffnitrat

urea nitrate; nitrate d'urée



farblose Kristalle
Bruttoformel: $CH_5N_3O_4$
Mol.-Gew.: 123,1
Bildungsenergie: –1064,0 kcal/kg = –4454,8 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –1092,9 kcal/kg = –4575,7 kJ/kg
Sauerstoffwert: –6,5 %
Stickstoffgehalt: 34,14 %
Normalgasvolumen: 910 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 767 kcal/kg = 3213 kJ/kg
(H_2O gas): 587 kcal/kg = 2458 kJ/kg
Spezif. Energie: 77,0 mt/kg = 755 kJ/kg
F. (Zersetzung): 140 °C
Bleiblockausbauchung: 270 cm^3
Dichte: 1,65 g/cm^3
Verpuffungstemperatur: 186 °C
Schlagempfindlichkeit: bis zu 5 kp m = 50 Nm
keine Reaktion
Reibempfindlichkeit: bis 36 kp = 353 N Stiftbelastung
keine Reaktion
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest:
bei 1 mm keine Zerlegung

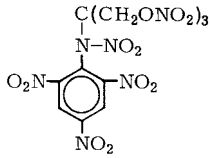
Harnstoffnitrat ist wenig löslich in Wasser und Alkohol, es zeigt gute Stabilität. Man erhält Harnstoffnitrat aus Harnstoff mit Salpetersäure. Das Salz hat stark sauren Charakter.

HBX, HBX-I usw.

sind gießbare Gemische aus Trinitrotoluol, Hexogen und Aluminium (→ Torpex) unter Zusatz von Phlegmatisiermitteln.

Heptryl

N-(2,4,6-Trinitro-N-nitranilino)-trimethylolmethan trinitrat



gelbe Kristalle
Bruttoformel: $C_{10}H_8N_8O_{17}$
Mol.-Gew.: 512,2
Bildungsenergie: –92,8 kcal/kg = –388,2 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –111,9 kcal/kg = –468,1 kJ/kg
Sauerstoffwert: –21,9 %
Stickstoffgehalt: 21,88 %
Normalgasvolumen: 817 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1332 kcal/kg = 5578 kJ/kg
(H_2O gas): 1281 kcal/kg = 5361 kJ/kg
Spezif. Energie: 128,6 mt/kg = 1261 kJ/kg
Schmelzpunkt: 155 °C (zers.)
Verpuffungspunkt: 180 °C

In der Bisanz wird Heptryl etwa wie → Nitropenta eingestuft. Die Prüfung im → ballistischen Mörser ergibt 143 % des Wertes für TNT.

HEX

bedeutet High Energy Explosive. Die mit HEX bezeichnete Reihe sind Modifikationen von → Torpex.

Hexal

ist eine Mischung 80/20 Hexogen/Aluminiumpulver. Das Hexogen ist mit ca. 5 % Wachs phlegmatisiert; die Hexal-Ladungen müssen gepreßt werden. Die → Arbeitsleistung solcher Gemische ist sehr hoch. Durch den Aluminiumzusatz wird zur Sprengleistung eine zusätzliche Brandwirkung erzielt.

Hexamethylendiisocyanat

Hexamethylene diisycyanate; diisocyanate d'hexaméthylène

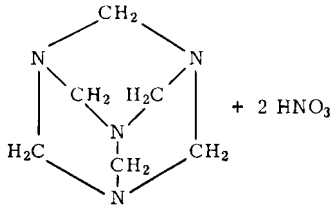
$$O=C=N-(CH_2)_6-N=C=O$$

farblose Flüssigkeit
Bruttoformel: $C_8H_{12}N_2O_2$
Molekulargewicht: 168,2
Bildungsenergie: –468,2 kcal/kg = –1960,4 kJ/kg
Bildungenthalpie: –496,4 kcal/kg = –2078,3 kJ/kg
Sauerstoffwert: –190,3 %
Stickstoffgehalt: 16,66 %
Dichte 20/4: 1,0528 g/cm^3
Siedepunkt bei 0,013 bar: 124 °C

Die Verbindung dient als Härtungspartner für Hydroxyl-Endgruppen bei der Herstellung von Polyurethan-Bindern in → Verbundtreibsätzen; siehe auch → Gießen von Treibsätzen.

Hexamethylentetramindinitrat

hexamethylenetetramine dinitrate; dinitrate d'hexaméthylène tétramine



weiße Kristalle
Bruttoformel: $C_6H_{14}N_6O_6$
Mol.-Gew.: 266,2
Bildungsenergie: –314,8 kcal/kg = –1318,0 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –343,7 kcal/kg = –1439,0 kJ/kg
Stickstoffgehalt: 31,57 %
Sauerstoffwert: –78,1 %
F. (Zersetzung): 158 °C
Normalgasvolumen: 1178 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 610 kcal/kg = 2555 kJ/kg
(H_2O gas): 565 kcal/kg = 2365 kJ/kg
Spezif. Energie: 75 mt/kg = 735 kJ/kg
Bleiblockausbauchung: 220 cm^3
Schlagempfindlichkeit: 1,5 kp m = 15 Nm

Reibempfindlichkeit: bei 24 kp
Stiftbelastung Reaktion

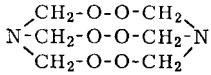
Das Salz ist löslich in Wasser, unlöslich in Alkohol, Ether, Chloroform und Aceton.

Hexamethylentetramindinitrat kann man aus Hexamethylentetramin und Salpetersäure von mittlerer Konzentration herstellen. Es bildet ein wichtiges Vorprodukt von Hexogen nach dem KA-Verfahren.

Nach einem anderen Verfahren arbeitet D.R.P. 479226: Paraformaldehyd wird bei einer Temperatur von 60–70 °C unter gleichzeitigem Einleiten vom Ammoniak in Wasser eingetragen, und nach Abkühlen durch Zusatz konzentrierter Salpetersäure das Dinitrat bei etwa 0 °C auskristallisiert.

Hexamethylentriperoxiddiamin

hexamethylene triperoxide diamine;
hexaméthylènetriperoxydediamine; HMTD



weiße Kristalle
Bruttoformel: $C_6H_{12}N_2O_6$
Mol.-Gew.: 208,1
Bildungsenergie: –384,7 kcal/kg = –1610,6 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –413,1 kcal/kg = –1729,7 kJ/kg
Sauerstoffwert: –92,2 %
Stickstoffgehalt: 13,46 %
Normalgasvolumen: 1247 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 805 kcal/kg = 3369 kJ/kg
(H_2O gas): 747 kcal/kg = 3128 kJ/kg
Spezif. Energie: 87,2 mt/kg = 855 kJ/kg
Dichte: 1,57 g/cm^3
Bleiblockausbauchung: 330 cm^3
Verpuffungspunkt: 200 °C (Zersetzung schon ab 150 °C)
Schlagempfindlichkeit: 0,06 kp m = 0,6 Nm

Dieses Peroxid ist fast unlöslich in Wasser und den üblichen organischen Lösungsmitteln.

Hexamethylentriperoxiddiamin wird aus Hexamethylentetramin und Wasserstoffsuperoxid in Gegenwart von Zitronensäure bei guter Kühlung hergestellt.

Es ist ein wirksamer Initialsprengstoff, jedoch hat ihm seine mangelhafte Lagerungsfähigkeit den Eingang in die Praxis verschlossen. Die thermische und mechanische Stabilität ist gering.

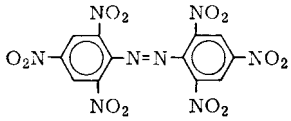
Hexanite

oder „Schießwollen neuer Art“

sind gegossene Sprengladungen aus Trinitrotoluol und Hexanitrodiphenylamin (60/40).

Hexanitroazobenzol

hexanitroazobenzene; hexanitroazobenzène

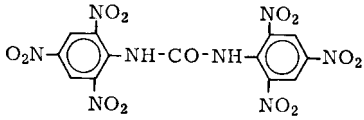


orangerote Kristallnadeln
Bruttoformel: $C_{12}H_4N_8O_{12}$
Mol.-Gew.: 452,2
Bildungsenergie: +150,8 kcal/kg = +603,9 kJ/kg
Bildungsenthalpie: +135,1 kcal/kg = +565,2 kJ/kg
Sauerstoffwert: –49,5 %
Stickstoffgehalt: 24,78 %
Normalgasvolumen: 888 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1037 kcal/kg = 4342 kJ/kg
(H_2O gas): 1024 kcal/kg = 4288 kJ/kg
Spezif. Energie: 121,6 mt/kg = 1192 kJ/kg
F. (Zersetzung): 215 °C

Man kann die Verbindung aus Dinitrochlorbenzol und Hydrazin herstellen. Das hierbei als Zwischenprodukt zunächst entstehende Tetranitrohydrazobenzol wird durch Mischsäure unter gleichzeitiger Oxydation und Hexanitrierung in das Hexanitroazobenzol umgewandelt. Die Verbindung ist sprengkräftiger als Hexyl.

Hexanitrocarbanilid

dipicrylurea; dipicrylurée; 2,2′, 4,4′, 6,6′-Hexanitro-N, N′-diphenylharnstoff; sym. Dipicrylharnstoff



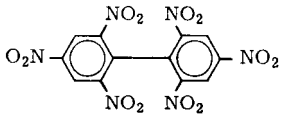
hellgelbe Kristalle
Bruttoformel: $C_{13}H_6N_8O_{13}$

Mol.-Gew.: 482,2
Bildungsenergie: –69,1 kcal/kg = –289,0 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –85,6 kcal/kg = –358,3 kJ/kg
Sauerstoffwert: –53,1 %
Stickstoffgehalt: 23,24 %
Normalgasvolumen: 922 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 849 kcal/kg = 3556 kJ/kg
(H_2O gas): 832 kcal/kg = 3484 kJ/kg
Spezif. Energie: 98,7 mt/kg = 968 kJ/kg
F. (Zersetzung): 208–209 °C
Verpuffungspunkt: 345 °C

Die Verbindung kann man durch Nitrierung von Carbanilid in einer oder mehreren Stufen gewinnen.

Hexanitrodiphenyl

hexanitrodiphenyl; hexanitrodiphényle; Hexanitrobiphenyl



hellgelbe Kristalle
Bruttoformel: $C_{12}H_4N_6O_{12}$
Mol.-Gew.: 424,2
Bildungsenergie: +53,3 kcal/kg = +223,0 kJ/kg
Bildungsenthalpie: +38,0 kcal/kg = +158,8 kJ/kg
Sauerstoffwert: –52,8 %
Stickstoffgehalt: 19,81 %
Dichte (gepreßt): 1,61 g/cm^3
Normalgasvolumen: 894 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1006 kcal/kg = 4212 kJ/kg
(H_2O gas): 992 kcal/kg = 4154 kJ/kg
Spezif. Energie: 116,1 mt/kg = 1138 kJ/kg
F. (Zersetzung): 263 °C
Bleiblockausbauchung: 344 cm^3
Verpuffungspunkt: 320 °C

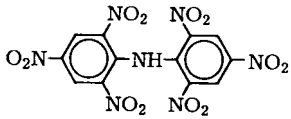
Es ist unlöslich in Wasser, löslich in Alkohol, Aceton, Benzol und Toluol.

Hexanitrodiphenyl kann nicht durch direkte Nitrierung von Diphenyl hergestellt werden.

Die Verbindung gehört zu den relativ temperaturunempfindlichen Sprengstoffen.

2,4,6,2′,4′,6′-Hexanitrodiphenylamin

hexanitrodiphenyl amine; hexanitrodiphénylamine; Dipicrylamin; Hexamin; Hexyl; Hexite; Hexil; HNDPhA; HNDP



kanariengelbes Kristallmehl
Bruttoformel: $C_{12}H_5N_7O_{12}$
Mol.-Gew.: 439,2
Bildungsenergie: +38,7 kcal/kg = +162,1 kJ/kg
Bildungsenthalpie: +22,5 kcal/kg = +94,4 kJ/kg
Sauerstoffwert: –52,8 %
Stickstoffgehalt: 22,33 %
Normalgasvolumen: 913 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 966 kcal/kg = 4042 kJ/kg
(H_2O gas): 949 kcal/kg = 3975 kJ/kg
Spezif. Energie: 112,0 mt/kg = 1098 kJ/kg
Dichte: 1,64 g/cm^3
F. (unter Zersetzung): 240–241 °C
Bleiblockausbauchung: 325 cm^3
Detonationsgeschwindigkeit: 7200 m/s bei
ϱ = 1,60 g/cm^3
Schlagempfindlichkeit: 0,75 kp m = 7,4 Nm
Reibempfindlichkeit: bei 36 kp = 353 N Stiftbelastung
keine Reaktion
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest: 5 mm

Der Sprengstoff ist giftig – der Staub greift Haut und Schleimhäute an –, lichtempfindlich, unlöslich in Wasser und den meisten Lösungsmitteln und bildet empfindliche saure Salze.

Hexanitrodiphenylamin wird durch Nitrierung des durch Kondensation aus Dinitrochlorbenzol und Anilin entstandenen unsymmetrischen Dinitrodiphenylamins mit konzentrierter Salpetersäure hergestellt. Die Stabilität und Brisanz ist etwas höher als die von Pikrinsäure, die Empfindlichkeit ist etwas größer.

Hexanitrodiphenylamin ist insbesondere in Unterwassersprengstoffen in gießbaren Mischungen mit Trinitrotoluol und Aluminium verwendet worden (→ Schießwolle 18). Wegen der Giftigkeit und seiner starken

Färbung dürfte sich heute die Verwendung anderer hochbrisanter Zuschläge zu solchen Gußmischungen eher empfehlen.

Für sich allein gehört Hexanitrodiphenylamin zu den relativ temperaturunempfindlichen Sprengstoffen.

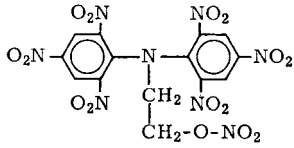
Die Verbindung wurde ferner als Fällungsreagens für Kalium verwendet; das Kaliumsalz ist in der „Positivliste" des Sprengstoffgesetzes als explosionsgefährlich aufgeführt.

Technische Reinheitsforderungen

Schmelzpunkt: nicht unter	230 °C
Rückstand in 1 : 3 Pyridin-Aceton-Lösung: nicht über	0,1 %

Hexanitrodiphenylaminoethylnitrat

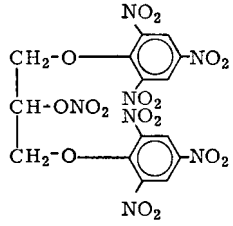
hexanitrodiphenylaminoethylnitrate;
nitrate d'hexanitrodiphényleaminoéthyle



schwachgelbe Blättchen
Bruttoformel: $C_{14}H_8N_8O_{15}$
Mol.-Gew.: 528,3
Sauerstoffwert: –51,5 %
Stickstoffgehalt: 21,21 %
F.: 184 °C
Verpuffungspunkt: 390 – 400 °C

Hexanitrodiphenylglycerinmononitrat

hexanitrodiphenylglycerolmononitrate;
mononitrate d'hexanitrodiphényleglycérine;
sym. dipikrinsaures Glycerinnitrat



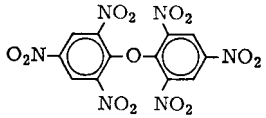
gelbe Kristalle
Bruttoformel: $C_{15}H_9N_7O_{17}$
Mol.-Gew.: 569,3
Sauerstoffwert: –49,2 %
Stickstoffgehalt: 17,22 %
F.: 160–175 °C
Bleiblockausbauchung: 355 cm^3
Schlagempfindlichkeit: 2,3 kp m = 23 Nm

Das Präparat ist löslich in Eisessig, schwerlöslich in Alkohol, unlöslich in Wasser.

Die Verbindung wird durch Lösen von Glycerindiphenylether in Salpetersäure und Eingießen der Lösung in Salpetersäure/Schwefelsäure hergestellt.

2,4,6,2′,4′,6′-Hexanitrodiphenyloxid

hexanitrodiphenyloxide; hexanitrodiphényloxide; Dipikryloxid



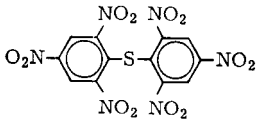
blaßgelbe Kristalle
Bruttoformel: $C_{12}H_4N_6O_{13}$
Mol.-Gew.: 440,2
Sauerstoffwert: –47,3 %
Stickstoffgehalt: 19,09 %
Dichte: 1,70 g/cm^3
F.: 269 °C
Bleiblockausbauchung: 373 cm^3
Detonationsgeschwindigkeit: 7180 m/s bei
ϱ = 1,66 g/cm^3
Schlagempfindlichkeit: 0,8 kp m = 8 Nm

Hexanitrodiphenyloxid ist unlöslich in Wasser, wenig löslich in Alkohol und Ether. Es ist eine sehr beständige Verbindung, die weniger schlagempfindlich, aber sprengkräftiger ist als Pikrinsäure.

Hexanitrodiphenyloxid erhält man durch Weiternitrierung der Di-, Tri-, Tetra- und Pentanitrosubstitutionsprodukte des Diphenylethers mit Mischsäure.

2,4,6,2′,4′,6′-Hexanitrodiphenylsulfid

hexanitrodiphenylsulfide; hexanitrodiphénylsulfide; Dipikrylsulfid



rotgelbes, körniges Pulver
Bruttoformel: $C_{12}H_4N_6O_{12}S$
Mol.-Gew.: 456,2
Sauerstoffwert: −56,1 %
Stickstoffgehalt: 18,42 %
Dichte: 1,65 g/cm^3
F.: 234 °C
Bleiblockausbauchung: 320 cm^3
Detonationsgeschwindigkeit: 7000 m/s bei
ϱ = 1,61 g/cm^3
Verpuffungspunkt: 305−320 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,6 kp m = 6 Nm

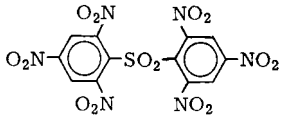
Der Sprengstoff ist nicht giftig und sprengtechnisch dem Hexanitrodiphenylamin sehr ähnlich, wenig löslich in Alkohol und Ether, leichter löslich in Eisessig und Aceton.

Hexanitrodiphenylsulfid wird durch Umsetzung von Trinitrochlorbenzol mit Natriumthiosulfat in alkalischer Lösung hergestellt.

Die Verbindung gehört zu den relativ temperaturunempfindlichen Sprengstoffen.

2,4,6,2′,4′,6′-Hexanitrodiphenylsulfon

hexanitrodiphenylsulfone; hexanitrodiphénylsulfone; Hexanitrosulfobenzidin



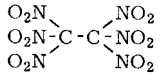
blaßgelbe Kristalle
Bruttoformel: $C_{12}H_4N_6O_{14}S$
Mol.-Gew.: 488,2
Sauerstoffwert: −45,8 %
Stickstoffgehalt: 17,22 %
F.: 307 °C
Verpuffungspunkt: 254 °C

Hexanitrodiphenylsulfon löst sich in Aceton, nur wenig in Benzol und Toluol. Es zeigt gute Stabilität.

Man erhält Hexanitrodiphenylsulfon durch Oxydation des Hexanitrodiphenylsulfids.

Hexanitroethan

hexanitroethane; hexanitroéthane; HNE



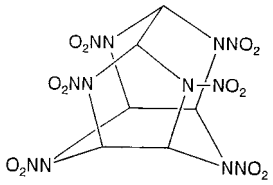
farbloses Pulver; Umwandlungspunkt bei 17 °C
Bruttoformel: $C_2N_6O_{12}$
Mol.-Gew.: 300,1
Bildungsenergie: +473,4 kJ/kg
Bildungsenthalpie: +399,1 kJ/kg
Sauerstoffwert: +42,7 %
Stickstoffgehalt: 28,01 %
Normalgasvolumen: 678 l/kg
Explosionswärme: 3020 kJ/kg
Spezif. Energie: 813 kJ/kg
Dichte: 1,85 g/cm^3
F.: 135,5 °C

Bleiblockausbauchung: 245 cm^3/10 g
Detonationsgeschwindigkeit: 4950 m/s bei
ϱ = 0,91 g/cm^3
Verpuffungspunkt: 175 °C
Schlagempfindlichkeit: 10 Nm
Reibempfindlichkeit: bei 235 N Stiftbelastung
Zersetzungen

Hexanitroethan ist als sauerstoffausgleichender Zusatz zu Treibsätzen vorgeschlagen worden.

Hexanitrohexaazaisowurtzitan

hexanitrohexaazaisowurtzitane; HNIW; CL-20
2,4,6,8,10,12-(Hexanitro-hexaaza)-tetracyclododecan



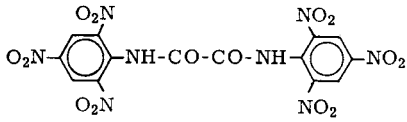
Bruttoformel: $C_6H_6N_{12}O_{12}$
Mol.-Gew.: 438,19
Bildungsenergie: +250,76 kcal/kg = +1049,2 kJ/kg
Bildungsenthalpie: +230,5 kcal/kg = +964,41 kJ/kg
Sauerstoffwert: –10,95 %
Stickstoffgehalt: 38,3 %
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1519 kcal/kg = 6356 kJ/kg
(H_2O gas): 1465 kcal/kg = 6127 kJ/kg
Spezif. Energie: 135,5 mt/kg = 1329 kJ/kg
Dichte: 2,04 g/cm^3
F.: > 195 °C (Zersetzung)
Schlagempfindlichkeit: 0,4 kp m = 4 Nm
Reibempfindlichkeit: 4,9 kp = 48 N

Man gewinnt Hexanitrohexaazaisowurtzitan durch Kondensation von Glyoxal mit Benzylamin zum Hexabenzylhexaazaisowurtzitan. Anschließend werden die Benzylgruppen unter reduktiven Bedingungen gegen leicht abspaltbare Substituenten wie Acetyl- oder Silylgruppen ersetzt. Im letzten Reaktionsschritt erfolgt die Nitrierung zum Hexanitrohexaazaisowurtzitan. Das Hexanitrohexaazaisowurtzitan kommt in verschiedenen Kristallmodifikationen vor, wobei nur die ε-Modifikation aufgrund ihrer hohen Dichte und einer Detonationsgeschwindigkeit von mehr als 9000 m/s interessant ist.

Als einer der energiereichsten organischen Explosivstoffe ist CL-20 für viele energetische Systeme interessant.

Hexanitrooxanilid

hexanitrooxanilide, Hexanitrodiphenyloxamid

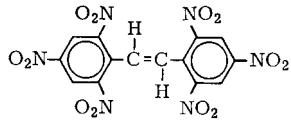


Bruttoformel: $C_{14}H_6N_8O_{14}$
Mol.-Gew.: 510,11
Sauerstoffwert: –53,3 %
Stickstoffgehalt: 21,97 %
F.: 295–300 °C (Zers.)

Man erhält die Verbindung durch Nitrierung von Oxanilid. Der Stoff ist interessant als relativ hoch-temperatur-stabiler Sprengstoff.

Hexanitrostilben

hexanitrostilbene, hexanitrostilbène, HNS

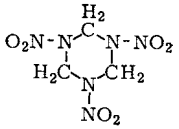


Bruttoformel: $C_{14}H_6N_6O_{12}$
Mol.-Gew.: 450,10
Bildungsenergie: +57,3 kcal/kg = +239,8 kJ/kg
Bildungsenthalpie: +41,5 kcal/kg = +173,8 kJ/kg
Sauerstoffwert: –67,5 %
Stickstoffgehalt: 18,67 %
Normalgasvolumen: 893 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 969 kcal/kg = 4056 kJ/kg
(H_2O gas): 951 kcal/kg = 3980 kJ/kg
Spezif. Energie: 99,4 mt/kg = 975 kJ/kg
F.: ca. 320 °C
Bleiblockausbauchung: 301 cm^3/10 g
Schlagempfindlichkeit: 0,5 kp m = 5 Nm
Reibempfindlichkeit: ab 24 kp = 235 N Stiftbelastung
Knistern

Hexanitrostilben wird von AB Bofors gemäß FP 2 007 049 (schwedische Priorität) als Zusatz in geringen Prozentsätzen zu TNT-Güssen vorgeschlagen, um deren Feinkörnigkeit in der Struktur zu verbessern.

Hexogen

hexogen; hexogène; Cyclotrimethylentrinitramin; Trimethylentrinitramin; Cyclonit; RDX; T 4



farblose Kristalle
Bruttoformel: $C_3H_6N_6O_6$
Mol.-Gew.: 222,1
Bildungsenergie: +400,2 kJ/kg
Bildungsenthalpie: +299,7 kJ/kg
Sauerstoffwert: –21,6 %
Stickstoffgehalt: 37,84 %
Normalgasvolumen: 927 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 5625 kJ/kg
(H_2O gas): 5277 kJ/kg
Spezif. Energie: 1370 kJ/kg
Dichte: 1,82 g/cm^3
F.: 204 °C
Schmelzwärme: 161 kJ/kg

Dampfdruck:

Millibar	Temperatur °C
0,00054	110
0,0014	121
0,0034	131
0,0053	138,5

Bleiblockausbauchung: 480 ml
Detonationsgeschwindigkeit: 8750 m/s bei Maximaldichte
Verpuffungspunkt: 230 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,75 kp m = 7,4 Nm
Reibempfindlichkeit: 12 kp = 120 N Stiftbelastung
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest: 8 mm

Hexogen ist in Wasser nahezu unlöslich, in Ether und Alkohol schwer, in heißem Benzol etwas löslich, reichlicher in Aceton, Cyclohexanon, in Nitrobenzol und in Glykol bei höheren Temperaturen.

Hexogen hat sich zu dem wohl wichtigsten hochbrisanten Sprengmittel entwickelt; infolge seiner hohen Dichte und hohen Detonationsgeschwindigkeit zeigt es hohe Brisanzleistung und ist (z. B. im Vergleich zu dem ähnlich leistungsstarken → Nitropenta) relativ unempfindlich und ist chemisch sehr stabil; es wird in seinen Eigenschaften nur leicht von dem homologen → Oktogen übertroffen.

Die „klassische" Herstellungsweise (*Henning* 1898) ist die Nitrierung von Hexamethylentetramin ($C_6H_{12}N_4$) zu Hexogen ($C_3H_6N_6O_6$) mittels konzentrierter Salpetersäure; bei Eingießen des konzentrierten Nitrieransatzes in Eiswasser fällt das Produkt aus. Wie das Formelbild zeigt, müssen drei Methylengruppen durch Oxidation vernichtet oder abgespalten werden. Die Bewältigung dieses Problems mit seinen Gefahren führte für die industrielle Herstellung, die während des Zweiten Weltkrieges auf beiden Seiten im großen Maßstab betrieben wurde, zu mehreren voneinander völlig unabhängigen chemischen Wegen:

S-H-Verfahren: Kontinuierliche Nitrierung von Hexamethylentetramin mit hochkonzentrierter Salpetersäure, Einleitung einer kontinuierlichen und vorsichtig (unter Temperaturkontrolle) zu handhabenden Zersetzungsreaktion unter Abspaltung von nitrosen Gasen, Abfiltern von der endgültigen abgerauchten Abfallsäure, Stabilisieren des Produktes mittels Druckkochens; falls erforderlich, Reinigung durch Umkristallisation.

K-Verfahren: Durch Zusatz von Ammoniumnitrat zum Nitrieransatz und nachfolgender Erwärmung anstelle des beim S-H-Verfahren angewendeten Abrauchens konnte die Ausbeute verbessert werden, da auch der aus dem Hexaminmolekül abgespaltete Formaldehyd zur Hexogenbildung ausgenutzt wird.

KA-Verfahren: (In USA *Bachmann*-Verfahren genannt) Hexamindinitrat wird mit Ammoniumnitrat und etwas Salpetersäure in Essigsäureanhydrid umgesetzt. Die entstehende Abfallessigsäure wird konzentriert und über das sogenannte *Keten*-Verfahren im Kreislauf rückgeführt und wieder als Essigsäureanhydrid eingesetzt.

E-Verfahren: Paraformaldehyd und Ammonsalpeter werden mit Essigsäureanhydrid zu Hexogen umgesetzt (Vorläufer des KA-Verfahrens).

W-Verfahren: Amidosulfosaures Kalium und Formaldehyd werden zu methylenamidosulfonsaurem Kalium (CH_2=N–SO_3K) umgesetzt, dieses ergibt bei Nitrierung mit Mischsäure Hexogen.

Hexogen wird in phlegmatisierter Form gepreßt und zur Herstellung von Übertragungsladungen, von Hohlladungen, ferner als Sekundärladung in Sprengkapseln verwendet. Weiterhin setzt man unphlegmatisiertes Hexogen in Kombination mit Trinitrotoluol als gießbare Mischung für Hohlladungen und brisante Sprengladungen (Composi-

tion B) ein, mit Aluminiumpulver wird es für Torpedo-Füllungen verwendet (Hexotonale, Torpex, Trialen). Auch als Zusatz zur Herstellung rauchschwacher Pulver kann es Verwendung finden.

Technische Reinheitsforderungen

Schmelzpunkt mindestens	200 °C
für Produkte, die nach dem Essigsäureanhydrid-Verfahren hergestellt sind, mindestens	190 °C
Azidität, als CH_3COOH höchstens	0,01 %
Acetonunlösliches höchstens	0,05 %
Aschegehalt höchstens	0,03 %

HMX

Abkürzung für homocyclonite, Bezeichnung für → Oktogen in den USA.

Hohlladung

shaped charge; hollow charge; charge creuse

Hohlladung ist eine Sprengladung mit einem dem Sprengobjekt zugewandten Hohlraum.

Rotationssymmetrische Hohlladung ist eine Sprengladung mit Symmetrieachse, die ihre Vorzugswirkung in der Richtung der Rotationsachse entfaltet. Rotationssymmetrisch ausgekleidete Hohlladungen vermögen Stahlunterlagen der Dicke des achtfachen Ladungsdurchmessers zu durchschlagen.

Ebensymmetrische Hohlladung (→ Schneidladung) ist eine Sprengladung mit Hohlraum, die ihre Vorzugswirkung in der Symmetrieebene entfaltet (hauptsächlich leistenförmige Sprengladungen – Dachladungen).

Ausgekleidete Hohlladungen sind Hohlladungen mit Auskleidung aus Inertmaterial, hauptsächlich Metall. Die Auskleidung dient als Energieüberträger, da sie die Energie der Sprengladung auf einen kleinen Wirkungsquerschnitt auf dem Sprengobjekt über relativ lange Zeit konzentriert.

Durch die Detonation der Sprengladung wird die Auskleidung so verformt, daß das Auskleidungsmaterial in der Symmetrieachse oder -ebene zusammenströmt und sich aus dem Kollapspunkt (jeweiliger Treffpunkt der Auskleidungselemente) der Stachel hoher kinetischer Energie und der Bolzen geringer kinetischer Energie bildet. Der Stachel ist für die Wirkung im Sprengobjekt verantwortlich. Die Vorgänge

können gut mittels der hydrodynamischen Theorie beschrieben werden.

Wesentliche Einflußgrößen der Hohlladung mit Auskleidung sind: Detonationsgeschwindigkeit und Dichte des Sprengkörpers, Detonationswellenform sowie Auskleidungsform, -material und -wandstärke.

Flachladung

Bei der Flachladung ist der Auskleidungswinkel größer als 100°. Bei Detonation der Sprengladung schlägt die Belegung nicht mehr in der Symmetrieachse zusammen, so daß sich aus dem Kollapspunkt Stachel und Bolzen bilden können, sondern die Belegung wird durchgestülpt. Es entsteht ein wesentlich dickerer, wenn auch kürzerer Stachel mit geringerer Durchschlagsleistung, aber dafür größerem Lochquerschnitt als bei der Hohlladung.

Projektilbildende Ladung

Bei der projektbildenden Ladung wird die Belegungsgeometrie so gestaltet, daß alle Elemente der Belegung etwa gleiche Geschwindigkeit erhalten. Die Festigkeit des Materials wird so gewählt, daß es die noch verbleibenden Geschwindigkeitsdifferenzen gut aufnehmen kann. Man erhält auf diese Art ein Projektil großer kinetischer Energie, welches nach Möglichkeit die gesamte Belegungsmasse enthält, und welches auch auf ein Sprengobjekt in großer Entfernung wirkt.

Der Hohlladungseffekt wurde erstmals 1883 beschrieben. Kurz vor dem 2. Weltkrieg fand *Thomanek*, daß durch Auskleiden des Hohlraumes die Durchschlagsleistung wesentlich gesteigert werden kann.

Die ersten theoretischen Überlegungen führte *Trinks* in den Jahren 1943/44 durch; „Rechnerische Untersuchungen über die Abhängigkeit der Wirkung verkleideter Hohlsprengkörper von ihren Bestimmgrößen“, Sprengstoffphysikerbericht 1943/6 aus der Forschungsabteilung des Heereswaffenamtes.

Die erste offene Arbeit stammt von *Birkhoff, Mac Dougall, Pugh, Taylor* „Explosives with Lined Cavities“ J. Appl. Phys. *19*, 563 (1948).

Die erste offene Arbeit über die Erklärung der Stachelstreckung und damit der Wirkungsverlängerung erfolgte durch *Pugh, Eichelberger, Rostoker* „Theory of Jet Formation by Charges with Lined Conical Cavities“ in J. Appl. Phys. *23*, 532–536 (1952).

Eine gute zusammenfassende Darstellung gibt M. Held: Grundsätze zur Konstruktion und Leistung von Hohlladungen, NOBEL-Hefte **57**, 14–40 (1991).

Holland-Test

ist eine von dem Holländer *Thomas* im Jahre 1927 ausgearbeitete Methode zur Bestimmung der chemischen Beständigkeit von Treibmitteln. Hierbei wird der Gewichtsverlust ermittelt, der nach einer 72stündigen Erhitzung bei 105 °C (mehrbasige Treibmittel) bzw. 110 °C (einbasige Treibmittel) eintritt. Der hierbei eintretende Verlust, abzüglich des in den ersten acht Stunden eingetretenen Gewichtsverlustes, darf max. 2 % betragen.

Ein Vorzug dieses Testes besteht darin, daß er nicht nur die Stickoxide, sondern auch alle sonstigen gasförmigen Zersetzungsprodukte eines Treibmittels, wie insbesondere CO_2 und N_2, zu erfassen gestattet. Zwecks reproduzierbarer Versuchsbedingungen werden gleiche Gefäße (im allgemeinen Röhren) mit Präzisionsschliff oder kleine Kölbchen im aufgesetzten geeichten Kapillaren verwendet.

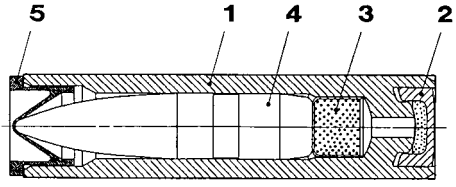
Da die Erhitzungstemperatur insbesondere für mehrbasige Pulver recht hoch ist, hat *W. Siebert* vorgeschlagen, den Gewichtsverlust-Test bei tieferen Temperaturen durchzuführen sowie die Erhitzungszeit nicht zu begrenzen, sondern bis zur Erreichung der autokatalytischen oder sonstwie sichtbaren Zersetzung auszudehnen. Diese bei 90, 75 und 65 °C durchzuführende Prüfung läßt das Ende der Lagerbeständigkeit eines Treibmittels erkennen.

Hülsenlose Munition

Die zur Verbesserung von Handfeuerwaffensystemen aufgestellten Forderungen führten zur Reduzierung des Kalibers (Größenordnung 4–5 mm), die Forderung nach Herabsetzung der Munitionsmasse zur Konzipierung der hülsenlosen Munition. Hinzu kam die Gefahr einer weltweiten Verknappung an Buntmetallen für die Patronenhülse im Falle einer Krise.

Die hülsenlose Munition bestand längere Zeit aus einem gepreßten Nitrocellulose-Treibmittelkörper, in den das Geschoß eingelassen war. Dieses Treibmittel neigt jedoch bei relativ niedriger Temperatur (ca. 170 °C) zur Selbstentzündung. Dadurch kann es zu dem bei allen Maschinenwaffen möglichen „cook off“, einer vorzeitigen Zündung im heißgeschossenen Patronenlager, kommen. Zudem verbleibt die mit der Patronenhülse abgeführte Wärme bei der Verwendung hülsenloser Munition im Patronenlager. Deshalb wurden zur Vermeidung eines „cook off“ weltweit HITP (High Ignition Temperature Propellants) entwickelt. DNAG führte ein derartiges Treibmittel erstmals für hülsenlose Patronen für die Waffenentwicklung (G 11) der Fa. Heckler und Koch ein. Die wesentlichen Neuerungen gegenüber älteren Entwicklungen sind die Verwendung eines hochtemperaturbeständigen, nicht-

kristallinen Explosivstoffes als Binder, einer speziellen Kornform des Energieträgers und die Abstimmungsmöglichkeit der Innenballistik durch Porosität und Festigkeit des Treibmittelkörpers. Weitere Neuentwicklungen sind das verbrennbare Anzündhütchen und der Booster.



1 Patronenkörper
2 Anzündhütchen
3 Anzündverstärker
4 Geschoß
5 Abschlußkappe

Schnittbild des hülsenlosen Patronenkörpers (Kaliber: 4,73 mm) für das Waffensystem G 11.

Hybrids

lithergoles

Hybrids bezeichnen in der Raketentechnik Systeme, bei denen ein fester Brennstoffkörper, etwa in der Art eines Innenbrenners, mit einem flüssigen Oxidationsmittel umgesetzt wird. Es gibt auch Hybrids mit festem Oxidator und flüssigem Brennstoff. Die Hybrids sind während des Abbrandes steuerbar und sogar wiederzündbar, wenn diese Forderung bei der stofflichen Zusammensetzung des Brennstoffkörpers durch Einarbeitung hypergoler Bestandteile berücksichtigt wird.

Hydan

1994 von A. Kappl bei der DNW (Dynamit Nobel Wien) entwickelter flüssiger Binärsprengstoff auf der Basis **Hyd**razinhydrat und **A**mmonium**n**itrat $(NH_2)_2.H_2O$ /NH_4NO_3. Die Kennwerte für ein Gemisch 50/50 betragen.

Hydan II :
Sauerstoffbilanz [%] –4,0
Explosionswärme [kJ/kg] 3879
Normalgasvolumen [l/kg] 1112
Explosionstemperatur [°C] 2400
Spezifische Energie [mt/kg] 112,3
Energieniveau [mt/kg] 152,8
Brisanz nach Kast [106] 105,3
Dichte ρ [g/cm3] 1,36
Detonationsgeschw. [m/s] 7150*)

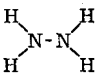
*) Bei Zündung mit 2 g Pentri®-Verstärkerladung.

Aufgrund der Handhabungsprobleme von Hydrazinhydrat (starke Base, toxisch) haben diese brisanten Gemische trotz günstigem Preis, hoher Sicherheit und Stabilität bei getrennter Lagerung, keine zivile Bedeutung erlangt. Sowohl in Japan als auch den USA wurde mit ähnlichen Gemischen als flüssige, → monergole Treibladung mit kaltem Abbrand und schwacher Rauchentwicklung experimentiert.

Literatur:

Kappl A., *Wasserstoffperoxid als Energieträger*, Dissertation, TU-Wien, 1995
Liedtke L. L. et al., *Liquid monopropellant for a gun*, US-Patent 4 946 522, 1990

Hydrazine

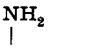


farblose Flüssigkeit
Bruttoformel: N_2H_4
Mol.-Gew.: 32,05
Bildungsenergie: +433,1 kcal/kg = +1812 kJ/kg
Bildungsenthalpie: +377,5 kcal/kg = +1580 kJ/kg
Sauerstoffwert: –99,9 %
Dichte: 1,004 g/cm^3

Hydrazin und Alkylhydrazine sind wichtige Treibstoffe in Raketenmotoren, besonders in kurzzeitig arbeitenden Steuerraketen in der Raumfahrt. Hydrazin wird mit Spezialkatalysatoren in Millisekundenbereichen zur Zerfallsreaktion gebracht. Siehe auch: „Aerozin“. Hydrazin und seine Derivate sind giftig.

Hydrazinnitrat

hydrazine nitrate; nitrate d'hydrazine



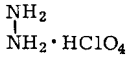
farbloses Salz
Bruttoformel: $H_5N_3O_3$
Mol.-Gew.: 95,07
Bildungsenergie:–672,3 kcal/kg = –2814,6 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –702,2 kcal/kg = –2940,0 kJ/kg
Sauerstoffwert: +8,6 %
Stickstoffgehalt: 44,20 %

Normalgasvolumen: 1006 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1140 kcal/kg = 4774 kJ/kg
(H_2O gas): 879 kcal/kg = 3681 kJ/kg
Spezif. Energie: 106,9 mt/kg = 1049 kJ/kg
Dichte: 1,64 g/cm^3
F.: 72 °C
Bleiblockausbauchung: 408 cm^3
Detonationsgeschwindigkeit: 8690 m/s
bei Maximal-Dichte
Verpuffungspunkt: bis 360 °C
keine Reaktion
Schlagempfindlichkeit: 0,75 kp m = 7,4 Nm
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest: 6 mm

Hydrazinnitrat ist erheblich wasserlöslich. Es ist wegen seiner sehr hohen Detonationsgeschwindigkeit sprengtechnisch interessant.

Hydrazinperchlorat (Hydraziummonoperchlorat)

hydrazineperchlorate; hydrazinium monoperchlorate d'hydrazine



farbloses Salz
Bruttoformel: $N_2H_5O_4Cl$
Mol.-Gew.: 132,5
Bildungsenergie: –293,9 kcal/kg = –1230,6 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –320,7 kcal/kg = –1342,9 kJ/kg
Sauerstoffwert: +24,1 %
Stickstoffgehalt: 21,14 %
Normalgasvolumen: 850 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 882 kcal/kg = 3692 kJ/kg
(H_2O gas): 725 kcal/kg = 3034 kJ/kg
Spezif. Energie: 90,5 mt/kg = 888 kJ/kg
Dichte: 1,83 g/cm^3
F.: 144 °C
Bleiblockausbauchung: 362 cm^3
Verpuffungspunkt: 272 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,2 kp m = 2 Nm
Reibempfindlichkeit: bei 1 kp = 10 N Stiftbelastung
Reaktion
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest: 20 mm

Das Produkt ist also *sehr* empfindlich.

Hypergole

Bezeichnung für flüssige Raketentreibstoffpaare, die bei Zusammentreten in der Brennkammer spontan verbrennen, ohne daß eine besondere Zündung nötig ist, z. B. bei dem Treibstoffpaar Hydrazin-Salpetersäure. Wichtig ist dabei eine möglichst kurze → Zündverzugszeit.

ICAO TI

bedeutet „International Civil Aviation Organization Technical Instructions for the Safe Transport of Dangerous Goods by Air“ und enthält die Bedingungen, unter denen gefährliche Güter mit Verkehrsflugzeugen befördert werden dürfen.

IMDG Code

ist die Abkürzung für „International Maritime Dangerous Goods Code“. Er enthält alle Vorschriften über die Beförderung gefährlicher Güter mit Seeschiffen, u. a. über die Klassifizierung, Verpackung und Stauung.

→ Gefahrgutverordnung See (GGVSee)

Initialsprengstoffe

initiating explosives; primary explosives; explosifs d’amorçage; explosifs primaires

lassen sich durch relativ schwachen mechanischen Stoß oder durch Funken zur Explosion bringen und dienen, in Sprengkapseln angewendet, zur Initiierung von Sprengstoffen. In Mischung mit Friktionsmitteln und anderen Bestandteilen werden sie in Anzündhütchen geladen.

Von einem Initialsprengstoff werden hohe Brisanz und hohe Auslösungsgeschwindigkeit gefordert. Die wichtigsten Vertreter sind Knallquecksilber, Bleiazid, Bleitrinitroresorcinat, Silberazid, Diazodinitrophenol und als Zusatz in Zündsätzen Tetrazen. Initialsprengstoffe dürfen nur fertig laboriert, d. h. in Hülsen (meistens aus Aluminium, z. T. aus Kupfer, für Spezialzwecke aus Kunststoff; → Sprengkapseln) eingepreßt transportiert werden.

Ionentreibstoffe

Im Vakuum, d. h. unter Raumfahrtbedingungen, können Ionen, also atomare Ladungsträger, mit Hilfe elektrischer Felder beschleunigt und zu einem Strahl gebündelt werden. Die → Ausströmgeschwindigkeit erreicht dabei höhere Größenordnungen als die mit Gasen aus chemischen Reaktionen erzielbaren. Dadurch errechnen sich sehr hohe Werte für mögliche spezifische Impulse.

I. S. L.

ist die Kurzbezeichnung des „Deutsch-Französischen Forschungsinstituts Saint-Louis ISL“ in St. Louis, Frankreich, bei Basel. Das Institut wurde von beiden Ländern zum Zweck der Forschung insbesondere über ballistische Probleme und über die Physik der Explosivstoffe errichtet.

Isocyanat

Isocyanate

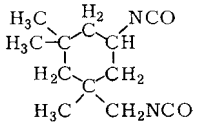
Isocyanate werden als Härter für Polyurethanbinder eingesetzt. Typische Vertreter die in der Formulierung von PU gebundenen Treib- und Explosivstoffen Verwendung finden sind → 2.4-Toluylendiisocyanat TDI, → Isophorondiisocyanat IPDI, Dimeryldiisocyanat DDI, das trimere Biuret gebundene Hexamethylendiisocyanat N100, das monomere Hexamethylendiisocyanat HDI, Dicyclohexylmethan-4,4’-diisocyanat DCMDI oder auch H12MDI genannt und 2,2,4-Trimethylhexandiisocanat TMDI.

Charakteristisch für Isocyanate ist die gegenüber OH Gruppen und Wasser reaktive NCO Gruppierung, die im Di- oder Triisocyanat bei der Aushärtung des Treib- und Explosivstoffslurries mit den OH Gruppen prepolymerer Di- oder Polyole unter Ausbildung eines elastischen polymeren Netzwerkes reagiert. Ihre chemische Reaktivität gegenüber fast allen OH, NH_2, und COOH Gruppierungen macht Isocyanate teilweise zu äußerst giftigen und krebserregenden Substanzen. Je nach Flüchtigkeit erfordert das Handling entsprechende Haut- und Atemschutzmaßnahmen. Feste Explosivstoffe und Oxydatoren müssen vor dem Kontakt mit Isocyanaten wasserfrei sein und entsprechend getrocknet werden.

Für HTPB gebundene Raketentreib- und Sprengstoffe haben sich DDI und IPDI, für GAP Diole N100 als Härter bewährt.

Isophorondiisocyanat

isophorone diisocyanate; diisocyanate d'isophorone

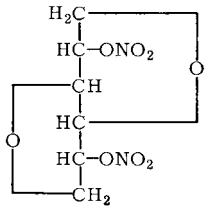


Bruttoformel: $C_{12}H_{18}N_2O_2$
Molekulargewicht: 222,2
Sauerstoffbilanz: –223,13 %
Stickstoffgehalt: 12,60 %
F.: –60 °C
Siedepunkt bei 0,013 bar: 158 °C
Bildungsenergie: –414,3 kcal/Mol = –1734,5 kJ/Mol
Bildungsenthalpie: –443,6 kcal/Mol = –1857,1 kJ/Mol

Isophorondiisocyanat dient als härtender Bildungspartner mit Hydroxy-Präpolymeren (z. B. Polypropylenglykol) für die Herstellung von Polyurethan-Bindern von → Verbundtreibstoffen („composite propellants").

Isosorbitdinitrat

isosorbitol dinitrate; dinitrate d'isosorbitol; ISDN



weiße, mikrokristalline Substanz
Bruttoformel: $C_6H_8N_2O_8$
Mol.-Gew.: 236,1
Sauerstoffwert: –54,2 %
Stickstoffgehalt: 11,87 %
F.: ca. 70 °C (Zersetzung)
Bleiblockausbauchung: 311 cm^3/10 g
Detonationsgeschwindigkeit: 5300 m/s bei
ϱ = 1,08 g/cm^3
Verpuffungspunkt: 173 °C
Schlagempfindlichkeit: 1,5 kp m = 15 Nm

Reibempfindlichkeit: ab 16 kp = 157 N Stiftbelastung
Knistern

Isosorbitdinitrat dient in niedrig-prozentiger Einmischung in Milchzucker als wirksames Herzmittel (wirksamer als → Nitropenta).
Die unvermischte Substanz ist ein kräftiger Sprengstoff.

Kaliumchlorat

potassium chlorate; chlorate de potassium

$KClO_3$

weiße KristalleMol.-Gew.: 122,6
Bildungsenergie: –776,1 kcal/kg = –3205 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –775,7 kcal/kg = –3245 kJ/kg
Sauerstoffwert: +39,2 %
Dichte: 2,34 g/cm^3
F.: 370 °C

Löslichkeit: wenig in kaltem, leicht löslich in heißem Wasser, unlöslich in Alkohol.

Kaliumchlorat ist der Basis-Rohstoff der → Chloratsprengstoffe, ferner eine wichtige Komponente in Zünd- und Feuerwerkssätzen, insbesondere auch für Reibköpfchen der Zündhölzer.

Kaliumnitrat

potassium nitrate; nitrate de potassium; Kalisalpeter

KNO_3

weiße KristalleMol.-Gew.: 101,1
Bildungsenergie: –1153,0 kcal/kg = –4827,5 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –1164,8 kcal/kg = –4876,6 kJ/kg
Sauerstoffwert: +39,6 %
Stickstoffgehalt: 13,86 %
Dichte: 2,10 g/cm^3
F.: 314 °C

Kaliumnitrat ist leicht löslich in Wasser, etwas löslich in Alkohol, unlöslich in Ether.

Man stellt Kaliumnitrat aus Natriumnitrat durch Austauschreaktion mit Kaliumchlorid her. Es ist im Gegensatz zu Natronsalpeter nicht hygroskopisch.

Kaliumnitrat wird sowohl in der Pyrotechnik, als auch für gewerbliche Sprengstoffe verwendet. Es ist der Sauerstoffträger des Schwarzpulvers.

Technische Reinheitsforderungen

Reingehalt, aus Stickstoff-Bestimmung: mindestens	99,5 %
Feuchtigkeit: nicht über	0,2 %
Wasserunlösliches: nicht über	0,1 %
scharfkantige Verunreinigungen:	keine
Säure:	0
Alkali:	0
Chloride als KCl: nicht über	0,07 %
Perchlorate, als $KClO_4$: nicht über	0,5 %
$Al_2O_3 + Fe_2O_3$: nicht über	0,5 %
Natrium als Na_2O: nicht über	0,25 %
CaO + MgO: nicht über	0,5 %
Stickstoffgehalt: mindestens	13,77 %

Kaliumperchlorat

potassium perchlorate; perchlorate de potassium

$KClO_4$

weiße KristalleMol.-Gew.: 138,6
Bildungsenergie: −735,6 kcal/kg = −3078 kJ/kg
Bildungsenthalpie: −746,3 kcal/kg = −3123 kJ/kg
Sauerstoffwert: +46,2 %
Dichte: 2,52 g/cm^3
F. (Zersetzung ab 400 °C): 610 °C

Kaliumperchlorat ist unlöslich in Alkohol, schwer löslich in Wasser.

Man erhält Kaliumperchlorat durch Umsetzung von löslichen Kaliumsalzen mit Natriumperchlorat oder Überchlorsäure.

Kaliumperchlorat findet Verwendung in der Pyrotechnik.

Technische Reinheitsforderungen

Erscheinung:	Farblos, geruchlos
Reingehalt (KCl-Bestimmung nach Reduktion): mindestens	99 %
Feuchtigkeit: nicht über	0,5 %
Wasserunlösliches: nicht über	0,1 %
Lösung in Heißwasser:	klar
Chloride als KCl: nicht über	0,1 %
Bromate als $KBrO_3$: nicht über	0,1 %

NH_4-, Na-, Mg- und Ca-Salze	Null
Schwermetalle:	Null
pH:	6,5 ± 0,5

„Kalte Pulver“

sind Artillerie-Schießpulver, deren Explosionswärme niedrig gehalten wird (etwa 800 kcal/kg und noch niedriger). Zwar muß dementsprechend die Lademenge erhöht werden, gleichwohl zeigen sie den Vorteil, die Geschützrohre wesentlich weniger zu erodieren als die „heißen“ Pulver. Wesentlich hierzu war die Einführung des Diglykoldinitrats anstelle des Nitroglycerins und darüber hinaus die Einführung des Nitroguanidins als Pulverkomponente. Nur so wurden die Leistungen der „Hochleistungskanonen“ ermöglicht. (→ Diglykoldinitrat, Nitroguanidin und Schießpulver.)

Kammerminensprengungen

coyote blasting; abattage par chambre de mine

Bei Kammerminensprengungen im Tagebau und in Steinbrüchen werden in die Bruchwand bergmännisch Stollen vorgetrieben und Kammern angelegt, welche große Sprengladungen (bis zu mehreren Tonnen) aufzunehmen vermögen. Die meist zu mehreren angelegten Kammern werden geladen, besetzt und gezündet. Die Zündung muß mittels → Sprengschnur erfolgen.

Die Kammerminensprengungen sind wegen der rationelleren Laderaumerstellung fast ganz durch das → Großbohrloch-Sprengverfahren abgelöst worden.

Kanaleffekt

bedeutet das Abbrechen der Detonation einer Ladesäule infolge Verdichtung von noch nicht detonierten Patronen durch vorauseilenden Gasstoß im Bohrloch. Der Effekt tritt leicht ein, wenn der Bohrlochquerschnitt groß im Verhältnis zum Patronenquerschnitt ist.

Kantenschußbedingung

cut off; dénudation de la charge

ist ein Begriff aus der Prüfung von Wettersprengstoffen auf Schlagwettersicherheit. Die hohe Sicherheit der Wettersprengstoffe gegen Schlagwetter bei der Mörserprüfung in Verbindung mit der bei der praktischen Sprengarbeit gewonnenen Erkenntnis der großen Gefahr, die darin besteht, daß eine durch Wegreißen der Vorgabe freigelegte Ladesäule des Wettersprengstoffs durch ihre Detonation Schlagwetter zünden kann, führte zur Prüfanordnung des Kantenmörsers, einer 2 m langen Stahlwelle von 23 cm Durchmesser, in die eine rechtwinklige Nut von 9 cm Kantenlänge eingefräst ist. Der Nut gegenüber ist eine Prallplatte angebracht. Die zu prüfenden Patronen werden in der Nut als Ladesäule aufgereiht. Es wird nun geprüft, bei welcher Patronenzahl und welchem Prallplattenabstand das Methan-Luft-Schlagwettergemisch gezündet wird; → Wettersprengstoffe.

Kennzeichnung

Nach sprengstoffrechtlichen und EU-Vorschriften sind Explosivstoffe (gewerbliche Sprengstoffe, Zünd- und Treibmittel) mit einem CE-Zeichen zu versehen. Weiterhin müssen pyrotechnische Gegenstände, sonstige explosionsgefährliche Stoffe der Stoffgruppe A und Sprengzubehör mit einem Zulassungszeichen versehen sein, das sich aus der Kurzbezeichnung der Bundesanstalt für Materialforschung und -Prüfung „BAM“, dem in der Anlage 2 zur 1 SprengV für den jeweiligen Stoff oder Gegenstand vorgesehen Zeichen und einer fortlaufenden Nummer zusammen setzt.

Weiterhin sind die Verpackungs- und Kennzeichnungsvorschriften nach § 14 der 1 SprengV in Verbindung mit der Anlage 3 zu beachten.

Klemmung

Unter Klemmung versteht man in der Raketentechnik das Verhältnis der Abbrandoberfläche zum engsten Düsenquerschnitt. Von der „Klemmung“ hängt der sich einstellende Brennkammerdruck in der Rakete ab. (→ Querschnittsverhältnis; → Feststoffraketen.)

Knallquecksilber

mercury fulminate; fulminate de mercure; Quecksilberfulminat

$Hg(ONC)_2$

farblose Kristalle
Bruttoformel: $C_2N_2O_2Hg$
Mol.-Gew.: 284,7
Bildungsenergie: +229,4 kcal/kg = +960,3 kJ/kg
Bildungsenthalpie: +225,2 kcal/kg = +942, kJ/kg
Sauerstoffwert: –11,2 %
Stickstoffgehalt: 9,84 %
Dichte: 4,42 g/cm^3
Bleiblockausbauchung: 130 cm^3
Detonationsgeschwindigkeit:
5000 m/s bei ϱ = 4,0 g/cm^3
Explosionswärme: 427 kcal/kg = 1788 kJ/kg
Verpuffungspunkt: 165–170 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,1 bis 0,2 kp m = 1 bis 2 Nm

Knallquecksilber ist giftig und in Wasser fast unlöslich. Es ist in trockenem Zustande sehr empfindlich gegen Schlag, Stoß, Reibung und Zündung durch Funken und Flammen. Durch Zusatz von Ölen, Fetten, Paraffin kann es phlegmatisiert werden, ebenso durch Anwendung eines sehr hohen Druckes beim Pressen.

Knallquecksilber wird durch Lösen von Quecksilber in Salpetersäure und Einguß dieser Lösung in 95 %igen Alkohol hergestellt. Nach kurzer Zeit bilden sich unter starker Gasentwicklung die Kristalle, die nach Beendigung der Reaktion auf einer Nutsche abgesaugt und neutral gewaschen werden. Das hierbei anfallende Knallquecksilber bildet kleine pyramidenförmige Kristalle von brauner bis grauer Farbe, die durch kolloidales Quecksilber hervorgerufen wird.

Durch einen geringen Zusatz von Kupfer und Salzsäure zur Reaktionsmischung wird ein weißes Produkt erhalten. Knallquecksilber wird unter Wasser gelagert. Kurz vor dem Gebrauch wird es bei etwa 40 °C getrocknet.

Infolge seiner hervorragenden Initiierfähigkeit, seiner großen Brisanz und der Möglichkeit, es leicht zur Detonation zu bringen, war Knallquecksilber der am weitesten verbreitete Initialsprengstoff bis zur Einführung des Bleiazids. Es wurde in gepreßtem Zustand zur Herstellung von Sprengkapseln und Zündhütchen verwendet. Material und Hülsen und Näpfchen sind Kupferlegierungen.

Technische Reinheitsforderungen

Reingehalt (durch jodometrische Titration nach Reaktion mit Thiosulfat): mindestens	98 %
Chloride; Oxalate:	Null
Reaktion:	neutral

Kohlenstaub

coal dust; poussière

Kohlenstaub-Luftgemische sind explosionsgefährlich und dürfen durch → Wettersprengstoffe nicht gezündet werden.

Koruskativa

(Zwicky, USA) sind gaslos reagierende Stoffpaare außerhalb der bekannten Thermite (→ Verzögerungssätze). Die Exothermie mancher Komponenten ist zuweilen überraschend: Ein Gemisch Titan-Antimon-Blei 48/23/29 wird bei 570 °C gezündet und kommt auf eine Reaktionstemperatur von 1000 °C. Andere Kombinationen sind z. B.: Magnesium-Silicium; Magnesium-Tellur; Magnesium-Zinn; Magnesium-Phosphor.

Kritischer Durchmesser

critical diameter; diamètre critique

Der kritische Durchmesser bezeichnet den Minimaldurchmesser einer Explosivstoffladung, bei welchem noch Detonation stattfinden kann. Er ist stark von der Struktur abhängig, bei gegossenen Ladungen größer als bei gepreßten. Feinverteilte Gaseinschlüsse verringen den kritischen Durchmesser erheblich.

Bei sehr unempfindlichen Stoffen wie Ammoniumnitrat kann der kritische Durchmesser sehr kleine Werte annehmen.

Kugelpulver

ball-powder; poudre sphérique; Globularpulver

ist ein Treibladungspulver aus kugelförmigen Pulverelementen, das nach einem besonderen, von *Olin Mathieson*, USA, entwickelten Verfahren hergestellt wird. Eine hochprozentige Nitrocelluloselösung in einem mit Wasser nicht mischbaren Lösemittel (z. B. Ethylacetat) wird in Wasser unter vorsichtiger Rührung so verteilt, daß sich schwimmende Kugeln ausbilden. Durch Erwärmen unterhalb des Siedepunktes des Lösemittels wird eine fortschreitende Verarmung an Lösemittel und damit Härtung der schwimmenden Kugeln erreicht.

Da die Kugelform innenballistisch ungünstig (besonders degressiv) ist, erfolgt eine tiefgreifende → Oberflächenbehandlung, um einen schneller brennenden Kern mit einer langsamer brennenden Schale zu umgeben.

Kumulative Zündung

Gegenlaufzündung; hierbei wird die Sprengladung gleichzeitig an zwei oder mehreren Stellen so gezündet, daß die Detonationswellen aufeinander zulaufen und ihre Wirkung addieren.

Kunkeln

sind zylinderförmige Preßlinge aus Schwarzpulver oder Sprengsalpeter mit einer zentralen Bohrung, so daß man sie auf der Zündschnur aufgereiht laden kann. Sie werden zum schonenden, rißfreien Sprengen verwendet, z. B. im Schieferbergbau und bei der Werksteingewinnung.

Kunststoffgebundene Sprengstoff-Mischungen

plastic bonded explosives; explosif-liant plastique

Hochbrisante kristalline Sprengstoffe wie Hexogen oder Oktogen lassen sich in aushärtbaren oder poly-addierenden Kunststoffen, wie Polysulfiden, Polybutadien, Acrylsäure, Polyurethan u. a. einbetten, und die Kunststoffbinder unter Formgebung auspolymerisieren. Auch andere Komponenten, wie → Aluminiumpulver lassen sich in solche Mischungen einbeziehen. Man erhält Körper beliebiger Dimensionen und mit gewissen mechanischen Festigkeitswerten, teilweise auch mit Gummi-ähnlicher Elastizität. Auch in Folien-Form lassen sich kunststoffgebundene Sprengstoffe bringen.

Kupferchromit

Copper chromite; Chromite de cuivre

$(CuO)_x(Cr_2O_3)_y$

pulverförmig
dunkelbraun bis schwarz

Mit Kupferchromit wird ein Reaktionsprodukt aus Kupferoxid und Chromoxid bezeichnet. Es ist ein wirksamer Katalysator für den Abbrand von Raketentreibsätzen und von pyrotechnischen Mischungen.

Technische Reinheitsforderungen

Siebanalyse:	
durch Sieb, lichte Maschenweite 0,07 mm: mindestens	98 %
durch Sieb, lichte Maschenweite 0,04 mm: mindestens	90 %

CuO: mindestens	79 %
nicht über	85 %
Cr_2O_3: mindestens	13 %
nicht über	19 %
Fe_2O_3: nicht über	0,35 %
wasserlösliches: nicht über	0,5 %

Ladedichte

loading density; densité de chargement

ist das Verhältnis des Gewichtes des Sprengstoffes zum Volumen des Explosionsraumes, d. h. des Raumes, in welchem die Explosion der gegebenen Menge des Sprengstoffes stattfindet. Im gleichen Sinne versteht man bei Pulvern unter Ladedichte das Verhältnis des einbringbaren Pulvergewichtes zum Laderaum.

Die Ladedichte ist sowohl für Treibladungspulver (wegen der Unterbringbarkeit einer möglichst hohen Treibleistung in einem meist durch die Waffenkonstruktion vorgegebenen Laderaum) als auch für brisante Sprengstoffe (→ Brisanz) eine sehr wichtige Kenngröße.

Häufig ist die Erzielung der maximal möglichen Ladedichte wesentlich (besonders für Hohlladungen). Hierzu dienen Preß- und Gießmethoden, wie z. B. Vakuum-, Sedimentations- und Preßgießverfahren.

Lagerung von Explosivstoffen*)

Lagern ist das Aufbewahren von Explosivstoffen und Gegenständen mit Explosivstoff an einem Ort über einen längeren Zeitraum.

Das Lagern von Explosivstoffen und Gegenständen mit Explosivstoff, mit Ausnahme kleiner Explosivstoffmassen, bedarf der Genehmigung.
Die zu lagernden Stoffe und Gegenstände sind in ihrer Verpackung Lagergruppen zuzu-ordnen. Die Lagergruppen beschreiben die möglichen Wirkungen (Gefährdungen) bei einem Brand, einer Deflagration oder Detonation.
Definitionen der Lagergruppen in der 2.SprengV:

Lagergruppe 1.1
Die Stoffe und Gegenstände dieser Gruppe können in der Masse explodieren. Die Umgebung ist durch Druckwirkung (Stoßwellen), durch Flammen und durch Spreng- und Wurfstücke gefährdet. Bei starkmanteligen Gegenständen oder Gegenständen über 60 mm Durchmesser (großkalibrigen Gegenständen) tritt eine zusätzliche Gefährdung durch schwere Sprengstücke ein. Die Schwere der Schäden

*) → auch: Abstand; → Massen-Explosionsfähigkeit.

und der Schadensbereich werden durch die Explosivstoff-Menge bestimmt.

Lagergruppe 1.2
Die Stoffe und Gegenstände dieser Gruppe explodieren nicht in der Masse. Gegenstände explodieren bei einem Brand zunächst einzeln. Im Verlauf des Brandes nimmt die Zahl der gleichzeitig explodierenden Gegenstände zu. Die Druckwirkung(Stoßwellen) der Explosionen ist auf die unmittelbare Umgebung beschränkt; an Bauwerken der Umgebung entstehen keine oder nur geringe Schäden. Die weitere Umgebung ist durch leichte Sprengstücke und durch Flugfeuer gefährdet. Fortgeschleuderte Gegenstände können beim Aufschlag explodieren und so Brände und Explosionen übertragen. Bei starkmanteligen Gegenständen oder Gegenständen über 60 mm Durchmesser (großkalibrigen Gegenständen) tritt eine zusätzliche Gefährdung durch schwere Sprengstücke ein.

Lagergruppe 1.3
Die Stoffe und Gegenstände dieser Gruppe explodieren nicht in der Masse. Sie brennen sehr heftig und unter starker Wärmeentwicklung ab, der Brand breitet sich rasch aus. Die Umgebung ist hauptsächlich durch Flammen, Wärmestrahlung und Flugfeuer gefährdet. Gegenstände können vereinzelt explodieren, einzelne brennende Packungen und Gegenstände können fortgeschleudert werden. Die Gefährdung der Umgebung durch Sprengstücke ist gering. Die Bauten in der Umgebung sind im Allgemeinen durch Druckwirkung (Stoßwellen) nicht gefährdet.

Lagergruppe 1.4
Die Stoffe und Gegenstände dieser Gruppe stellen keine bedeutsame Gefahr dar. Sie brennen ab, einzelne Gegenstände können auch explodieren. Die Auswirkungen sind weitgehend auf die Packung beschränkt. Sprengstücke gefährlicher Größe und Flugweite entstehen nicht. Ein Brand ruft keine Explosion des gesamten Inhalts einer Packung hervor.

Die Lagergruppen bestimmen die einzuhaltenden Sicherheitsanforderungen, insbesondere
– die Schutzabstände der Lager zu Wohnbereichen und Verkehrswegen,
– die Sicherheitsabstände der Lager in einem Betrieb untereinander und zu anderen Objekten innerhalb des Betriebes,

die Bauweise der Lager,
– die Einrichtungen in den Lagern und
– beim Betrieb der Lager.

Die Anforderungen an überirdische Lager sind u. a. vorgegeben in
– der 2.SprengV,
– den Sprengstofflager-Richtlinien

Sicherheitsabstände für Lager mit Explosivstoffen der Lagergruppe 1.1 nach Anlage 2 Nummer 2
- k-Faktoren und Mindestabstände -

Explosivstoffe, die bei einer Explosion **keine schweren** Sprengstücke bilden			Gefährlicher Betriebsteil In Einwirkungsrichtung									Ungefährlicher Betriebsteil	
			Gebäude und Plätze mit Explosivstoffen (ausgenommen Lager)				Lager mit Explosivstoffen				Sonstige Gebäude		
Gefährdetes Objekt (Akzeptor A) →			Erd-überdeckt	Mit Wall oder Wider-stands-wänden und schwerer Dachaus-führung	Mit Wall oder Wider-stands-wänden und leichter Dachaus-führung	Ohne Wall	Erd-überdeckt	Mit Wall oder Wider-stands-wänden und schwerer Dachaus-führung	Mit Wall oder Wider-stands-wänden und leichter Dachaus-führung	Ohne Wall		Gebäude, die der Herstellung dienen	Sonstige Gebäude
Gefährdendes Objekt (Donator D) in Wirkrichtung ↓			A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6	A 7	A 8	A 9	A 10	A 11
erdüberdeckt	D 1		2,5	3,0	3,5	4,0	0,8	2,5	3,0	4,0	4,0	8,0 (30 m)	8,0 (30 m)
Mit Wall *), schwere Dachausführung	D 2		2,5	4,0	6,0	6,0	0,8	2,5	4,0	6,0	4,0 [2])	8,0 (30 m)	8,0 (30 m)
Mit Wall *), leichte Dachausführung	D 3		2,5	3,0	3,5	5,0	0,8	2,5	3,0	5,0	4,0 [2])	8,0 (30 m)	8,0 (30 m)
Ohne Wall *)	D 4		2,5	4,5	6,0	8,0 [1])	0,8	2,5	4,0	8,0 [1])	6,0 (30 m)	8,0 [1]) (30 m)	8,0 [1]) (30 m)

*) oder gleichwertige(r) Schutzeinrichtung

Klammerzahlen ( ) = Mindestabstände

[1]) Nur zulässig bei besonders günstigen örtlichen oder betrieblichen Verhältnissen

[2]) Ist der Donator ein Lager, gelten die Faktoren der Spalte A 4

Bemerkungen: Bei Lagermengen von mehr als 1000 kg muss das Lager mit einer Erdüberschüttung versehen oder in gewachsenen Fels standfesten Boden eingebaut sein.
Bei Lagermengen bis 1000 kg genügt die Umwallung des Lagers (vgl. Nr. 2.4.1 Abs. 3)

Nr. 210 für Sprengstoffe und Zündmittel,
Nr. 220 für pyrotechnische Sätze und Gegenstände,
Nr. 230 für Explosivstoffe und Gegenstände mit Explosivstoff,
Nr. 240 für Airbag- und Gurtstraffer-Einheiten,
Nr. 300 für sonstige explosionsgefährliche Stoffe und

– er BGV B5.

Die Anforderungen an unterirdische Lager sind in der Richtlinie für den Nichtsteinkohlen-bergbau vorgegeben.

Im Folgenden sind die nach der 2.SprengV einzuhaltenden Schutzabstände beispielhaft aufgeführt.

Für Lager mit Stoffen und Gegenständen der Lagergruppe 1.1 muss ein Schutzabstand

– zu Wohnbereichen nach der Formel
  $E = 22 \times \sqrt[3]{M}$
  eingehalten werden. Für Gegenstände, bei denen eine zusätzliche Gefährdung durch schwere Sprengstücke gegeben ist, ist ein Mindestabstand von 275 m einzuhalten.
– zu Verkehrswegen nach der Formel
  $E = 15 \times \sqrt[3]{M}$
  eingehalten werden. Für Gegenstände, bei denen eine zusätzliche Gefährdung durch schwere Sprengstücke gegeben ist, ist ein Mindestabstand von 180 m einzuhalten.

  Für Lager mit Stoffen und Gegenständen der Lagergruppe 1.2 muss ein Schutzabstand

– zu Wohnbereichen nach der Formel
  $E = 58 \times \sqrt[6]{M}$
  eingehalten werden. Werden starkmantelige Gegenstände oder Gegenstände über 60 mm Durchmesser (großkalibrige Gegenstände) gelagert, durch die eine zusätzliche Gefährdung durch schwere Sprengstücke gegeben ist, muss ein Schutzabstand nach der Formel
  $E = 76 \times \sqrt[6]{M}$
  eingehalten werden. In jedem Fall ist ein Mindestabstand von 90 m bzw.135 m einzuhalten.
– zu Verkehrswegen nach der Formel
  $E = 39 \times \sqrt[6]{M}$
  eingehalten werden. Werden starkmantelige Gegenstände oder Gegenstände über 60 mm Durchmesser (großkalibrige Gegenstände) gelagert, durch die eine zusätzliche Gefährdung durch schwere Sprengstücke gegeben ist, muss ein Schutzabstand nach der Formel
  $E = 51 \times \sqrt[6]{M}$
  eingehalten werden. In jedem Fall ist ein Mindestabstand von 60 m bzw. 90 m einzuhalten.

Für Lager mit Stoffen und Gegenständen der Lagergruppe 1.3 muss ein Schutzabstand

– zu Wohnbereichen nach der Formel
  $E = 6{,}4 \times \sqrt[3]{M}$
  eingehalten werden. In jedem Fall ist ein Mindestabstand von 60 m einzuhalten.
– zu Verkehrswegen nach der Formel
  $E = 4{,}3 \times \sqrt[3]{M}$
  eingehalten werden. In jedem Fall ist ein Mindestabstand von 40 m einzuhalten.

Für Lager mit Stoffen und Gegenständen der Lagergruppe 1.4 ist bei einer Lagermenge bis 100 kg ein Schutzabstand nicht erforderlich.
Bei Lagermengen über 100 kg muss ein Schutzabstand zu Wohnbereichen und zu Verkehrswegen, unabhängig von der Lagermenge, von mindestens 25 m eingehalten werden.
Zur Ermittlung der Sicherheitsabstände enthält die 2.SprengV ein Tabellenwerk, nach dem auf der folgenden Seite für die Lagergruppe 1.1 beispielhaft abgebildeten Muster. Aus der Tabelle sind k-Faktoren zu entnehmen, die in die Formel
$E = k \times \sqrt[3]{M}$
einzusetzen sind. Die k-Faktoren sind abhängig von der Bauweise des gefährdenden Lagers (Donator D) sowie der Bauweise und der Art der Nutzung des gefährdeten Objekts (Akzeptor A).

Leuchtsätze

tracers; compositions lumineuses

sind langsam abbrennende pyrotechnische Sätze, die zur Herstellung von Leuchtgeschossen, Signalpatronen, Leuchtraketen und Lichtspurgeschossen Verwendung finden, denen zum Zwecke der Flammenfärbung bestimmte Salze wie Natrium-, Barium-, Strontium- und Kupfersalze zugesetzt werden. In die Gruppe der Geräte mit signalgebender Wirkung gehören auch Rauch- und Farbrauch-Zeichen sowie Farbmarkierungssätze zum Markieren von Gelände und Wasseroberflächen mittels organischer Farben.

Lithiumnitrat

lithium nitrate; nitrate de lithium

$LiNO_3$

Mol.-Gew.: 68,95
Bildungsenergie: –1658 kcal/kg = –6936kJ/kg
Bildungsenthalpie: –1675 kcal/kg = –7007 kJ/kg
Sauerstoffwert: +58,1 %

Stickstoffgehalt: 20,32 %
Dichte: 2,38 g/ml
F.: 256 °C

Lithiumnitrat ist in Wasser löslich und sehr hygroskopisch.

Man erhält Lithiumnitrat durch Neutralisation von Lithiumhydroxyd oder Lithiumcarbonat mit Salpetersäure und Eindampfen der Salzlösung.

Es hat nur Bedeutung als flammenfärbender Sauerstoffträger in pyrotechnischen Rezepturen.

Lithiumperchlorat

lithium perchlorate; perchlorate de lithium

$LiClO_4$

farblose KristalleMol.-Gew.: 106,40
Bildungsenergie: −842,0 kcal/kg = −3523 kJ/kg
Bildungsenthalpie: −855,9 kcal/kg = −3581 kJ/kg
Sauerstoffwert: +60,2 %
Dichte: 2,43 g/ml
F.: 239,0 °C
Verpuffungspunkt: 380 °C

Lithiumperchlorat ist löslich in Wasser und Alkohol. Es ist sehr hygroskopisch. Das Salz mit Kristallwasser schmilzt bei 95 °C.

Man erhält Lithiumperchlorat durch Sättigung von Überchlorsäure mit Lithiumhydroxyd oder Lithiumcarbonat.

Lithiumperchlorat ist ein sehr hochprozentiger Sauerstoffträger, z. B. für → Verbundtreibsätze. Es findet außerdem in Batterien Verwendung.

LOVA

bedeutet low-vulnerability ammunition. Dieses Kennwort zeigt die Tendenz zu möglichst unempfindlichen Komponenten sowohl für Sprengals auch für Treibladungen, selbst wenn Einbußen an Leistungsfähigkeit hingenommen werden müssen. Die Entwicklung der → Hohlladungen machte es möglich, gelagerte Munition auch hinter Panzerung mit einfachen taktischen Waffen („Panzerfaust“) zur Entzündung zu bringen. Bei den Sprengstoffen erreicht man eine gewisse Phlegmatisierung durch Einbetten hochbrisanter Stoffe (z. B. → Hexogen) in gummielastische Plaste. Für Pulver → LOVA-Treibladungspulver.

Interessant für beides: → Nitroguanidin.

LOVA-Treibladungspulver

LOVA gun-propellant, LOVA-TLP

Zur Herstellung von Treibladungen werden neben den bekannten → Schießpulvern seit etwa 1970 auch → LOVA-Treibladungspulver entwickelt und eingesetzt.

Der Name drückt bereits die charakteristischen Merkmale der Munition und damit auch des Treibladungspulvers aus: Bei Fremdeinwirkung (Beschuß, Hohlladung, Feuer) darf eine eventuelle Reaktion der Pulver höchstens zum Brand führen, nicht zur → Deflagration bzw. zur → Detonation. Trotzdem muß die ballistische Leistung herkömmlicher Pulver erreicht, besser überboten werden.

Um beiden Anforderungen gerecht zu werden, verwendet man als Energieträger herkömmliche → Sprengstoffe, die in eine Matrix aus → energetischem oder inertem Binder so eingebettet werden, daß die Energieträger ihre Sprengstoffeigenschaften verlieren und ein geregelter Abbrand stattfindet.

Die gebräuchlichsten Energieträger sind → Hexogen und → Oktogen, teilweise auch → TAGN. Abhängig vom Einsatzzweck können zusätzlich → Nitroguanidin, Guanidinnitrat und → Ammoniumperchlorat verwendet werden.

Als Bindersystem werden polymere Verbindungen eingesetzt. Enthalten die Binder energie- oder gas-liefernde Molekülgruppen ($–NO_2$, $–N_3$), spricht man von energetischen Bindern (z. B. Polynitropolyphenylen, Glycidylazidpolymer, Polyvinylnitrat, Nitrocellulose). Fehlen diese Bestandteile, spricht man von inerten Bindern.

Abhängig von den Verarbeitungsmöglichkeiten können als Bindertypen Duroplaste, Thermoplaste oder Gelbildner verwendet werden, die durch chemische oder physikalische Einwirkung in einen formbaren Zustand gebracht und nach der Formgebung ausgehärtet werden können.

Als Duroplaste werden Reaktionspolymere wie Polyester oder Polybutadienderivate in Kombination mit Härtern (z. B. Isocyanaten) eingesetzt. Als Thermoplaste finden langkettige, teilweise verzweigte Polyether (Movital) oder polymere fluorierte Kohlenwasserstoffe (Fluorel) Verwendung. Ein Beispiel für Gelbildner ist *C*ellulose*a*ceto*b*utyrat (CAB), das überlicherweise in Kombination mit Nitrocellulose eingesetzt wird.

Die Herstellung von LOVA-Pulvern ist abhängig vom gewählten Bindertyp. Bei Verwendung von Duroplasten wird das System Energieträger/Binder/Härter in Knetern vermischt, ebenso bei Verwendung von Gelbindnern, jedoch hier unter Zugabe gelatinierender Lösungsmittel (meist Alkohol und Ether). Thermoplaste werden nach dem Einmischen der Energieträger auf geheizten Walzwerken zu einem

plastischen Material verarbeitet. Die sich in allen Fällen anschließende Formgebung geschieht mit hydraulischen Strangpressen und Schneidmaschinen. Abhängig vom Bindertyp werden die so erhaltenen Pulverkörner gehärtet (Duroplast), abgekühlt (Thermoplast) oder getrocknet durch Entfernung der Lösemittel (Gelbildner).

Die möglichen Pulverformen entsprechen denen herkömmlicher → Schießpulver und werden zur Erzielung bestimmter ballistischer Eigenschaften dem Verwendungszweck angepaßt.

LOX

Abkürzung für liquid oxygen (flüssiger Sauerstoff).

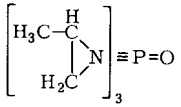
LX

bezeichnet Formulierungen des Lawrence Livermore National Laboratory. Beispiele*) sind:

LX	Synonym	HMX %	Additive	Detonation Velocity, confined %	m/s	ft/s	at ρ = g/cm^3
–04-1	PBHV-85/15	85	Viton A	15	8460	27740	1.86
–07-2	NX-04-BA	90	Viton A	10	8640	28330	1.87
–09-0	NX-09-CB	93	„DNPA“	7	8810	28890	1.84
–10-0	NX-05-DE	95	Viton A	5	8820	28420	1.86
–11-0	NX-04-P1	80	Viton A	20	8320	27280	1.87
–14-0		95	Estane	5	8437	28970	1.83

MAPO

ist die Abkürzungsbezeichnung für Methylaziridinphosphinoxid, eine Binderkomponente für → AP-haltige Verbundtreibstoffe.



Bruttoformel: $C_9H_{18}N_3OP$
Molekulargewicht: 215,1
Dichte: 1,08 g/cm^3
Siedepunkt: 120 °C bei 0,004 bar.

*) Data quoted from the publication UCRL-51319 of the U.S. Department of Commerce: Properties of Chemical Explosives and Explosive Stimulants, edited and compiled by *Brigitta M. Doloratz*, Univerity of California (1974).

Massen-Explosionsfähigkeit, Massen-Explosionsgefährlichkeit

mass explosion risk; danger d'explosion en masse

Mit diesen Begriffen wird das Verhalten von Explosivstoffen und explosiven Gegenständen, insbesondere Munition daraufhin beschrieben, ob im Falle einer lokalen Explosion (Massen-Explosionsfähigkeit) oder eines lokalen Brandes (Massen-Explosionsgefährlichkeit) eine Explosion in gesamter Massierung (z. B. einer Wagenladung oder gar einer Schiffsladung) anzunehmen ist oder nicht. Zur Prüfung der Stoffe und Gegenstände sind eine Reihe von Testen vorgeschrieben, wobei ein versandmäßiges Paket, dann eine versandmäßige Kiste und schließlich ein Kistenstapel der Einwirkung des für den betreffenden Stoff oder Gegenstand vorgesehenen → Zündmittels oder → Anzündmittels ausgesetzt werden; zur Prüfung auf Massenexplosions-Gefährlichkeit wird ein Kistenstapel in bestimmter Anordnung, verdämmt mit inert-gefüllten Kisten gleicher Bauart, einem Brand ausgesetzt.

Massenexplosionsfähigkeit und Massenexplosionsgefährlichkeit hängen nicht allein von Stoff-Eigenschaften ab, sondern auch von der Höhe der Massierung (im Extremfall eine ganze Schiffsladung), vom Einschluß (Gebäude bzw. Wagen-Kästen mit und ohne Ausblasewand, in Leicht- oder Schwer-Bauweise), von der Verpackung und von der betreffenden Laborierung (z. B. je nachdem ob sich Schwarzpulver in Schachtelverpackung oder eingesponnen in Zündschnüren befindet).

Massenverhältnis

bedeutet in der Raketenflugtechnik das Verhältnis der Anfangsmasse einer Rakete zur Masse nach dem Ausbrennen des Treibmittels. Die Beziehung zwischen der End-Geschwindigkeit einer Rakete (theoretisch; ohne Berücksichtigung der Reibung durch die Luft) und dem Massenverhältnis kann durch folgende Gleichung beschrieben werden:

$$v_b = I_s \cdot g \cdot \ln \frac{1}{1 - \frac{M_e}{M_i}}$$

v_b Projektilgeschwindigkeit bei Brennschluß,
I_s spezifischer Impuls,
g Gravitationskonstante,
M_e Raketenmasse bei Brennschluß,
M_i Raketenmasse bei Brennbeginn.

Andere Stichwörter in diesem Zusammenhang:
→ Raketenmotor; → Feststoffraketen;
→ Spezifischer Impuls.

Mehlpulver

ist ungekörntes, mehlförmiges → Schwarzpulver, das in der Pyrotechnik verwendet wird.

Mesa-Abbrand

→ Abbrandgeschwindigkeit.

Metallbearbeitung durch Sprengstoffe

explosive forming

Die Anwendungsmöglichkeit von Sprengstoffen zur Metallbearbeitung ist nach drei Richtungen erprobt worden: zum Formen von Blechen und flachen Werkstücken gegen Matrize durch Druckstoß, zum Plattieren und zur Oberflächenhärtung von Manganhartstahl.

Die Anwendung des Druckstoßes eines Sprengstoffs zur Verformung von Werkstücken hat insbesondere zum Ziel, bei sehr großflächigen Stücken die Verformung ohne den Aufwand sehr teurer Pressen zu ermöglichen. Die Druckstoß-Übertragung geschieht in Wasser. Gute Erprobungsergebnisse liegen vor, zum Serien-Einsatz des Verfahrens kam es noch nicht.

Sehr weit entwickelt ist die Plattierungsarbeit: Das zu plattierende Blech wird auf das Trägermaterial parallel oder in gewissen Winkelstellungen aufgesprengt. Hierbei werden Plattierungen ermöglicht, die bei Aufschweißen von Hand wegen Bildung spröder Zwischenlegierungen zwischen Auftrags- und Trägermaterial nicht möglich wären, so z. B. die Plattierung von Titan auf Stahl.

Bei der Oberflächenhärtung von Manganstahl tritt durch den Schlag einer aufgelegten Sprengstoffschicht Härtung ein; das Verfahren ist nur interessant, wenn in sehr entlegenen Gebieten Eisenbahnschienen-Reparaturarbeiten ohne die Notwendigkeit langer Transportwege an den zu reparierenden Stücken durchzuführen sind. In dicht besiedelten Gebieten hat die Durchführbarkeit von regelmäßigen Verformungs-Sprengungen ohnehin ihre Schwierigkeiten.(→ Wasafol; Wasaform.)

Methylaminnitrat

methylamine nitrate; nitrate de méthylamine; MAN

$CH_3 - NH_2 \cdot HNO_3$

Bruttoformel: $CH_6N_2O_3$
Mol.-Gew.: 94,1
Bildungsenergie: –861,5 kcal/kg = –3607,0 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –896,1 kcal/kg = –3752,0 kJ/kg
Sauerstoffwert: –34,0 %
Stickstoffgehalt: 29,77 %
Normalgasvolumen: 1189 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 856 kcal/kg = 3585 kJ/kg
(H_2O gas): 675 kcal/kg = 2825 kJ/kg
Spezif. Energie: 95,9 mt/kg = 941 kJ/kg
Dichte: 1,422 g/cm^3
F.: 111 °C
Bleiblockausbauchung: 325 cm^3

Methylaminnitrat ist wesentlich stärker hygroskopisch als Ammonnitrat. Es ist sehr wenig schlagempfindlich.

Methylaminnitrat ist als Schmelzkomponente für Ammonsalpetermischungen verwendbar, bedarf aber dann weiterer Zumischung von brisanten Komponenten, wobei die Verträglichkeit mit aromatischen Nitrokörpern bei höherer Temperatur nicht durchweg sicher ist. Auch als Komponente in Sprengschlämmen („Slurries“) wird Methylaminnitrat verwendet.

Methylnitrat

methylnitrate; nitrate de méthyle

$CH_3 - ONO_2$

farblose Flüssigkeit
Bruttoformel: CH_3NO_3
Mol.-Gew.: 77,0
Bildungsenergie: –456,8 kcal/kg = –1912,3 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –483,6 kcal/kg = –2024,9 kJ/kg
Sauerstoffwert: –10,38 %
Stickstoffgehalt: 18,19 %
Normalgasvolumen: 909 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1613 kcal/kg = 6754 kJ/kg
(H_2O gas): 1446 kcal/kg = 6055 kJ/kg
Spezif. Energie: 132,7 mt/kg = 1301 kJ/kg
Dichte: 1,217 g/cm^3

Kp.: 65–66 °C
Bleiblockausbauchung: 610 cm^3
Detonationsgeschwindigkeit: 6300 m/s bei
ϱ = 1,217 g/cm^3
Verpuffungspunkt: verdampft schnell ohne Entzündung
Schlagempfindlichkeit: 0,02 kp m = 0,2 Nm
Reibempfindlichkeit: bis 36 kp = 353 N Stiftbelastung
keine Reaktion
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest: 18 mm

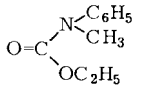
Methylnitrat ist eine stark flüchtige Flüssigkeit, wenig löslich in Wasser und an Brisanz dem Nitroglycerin gleichzusetzen. Die Dämpfe sind brennbar und explosiv, sie verursachen Kopfschmerz. Methylnitrat löst Nitrocellulose zu einer Gallerte, aus der das Methylnitrat aber verhältnismäßig schnell abdampft.

Man kann Methylnitrat sowohl durch Eintragen von Methylalkohol in Nitriersäure bei tiefen Temperaturen erhalten als auch durch Destillation des Alkohols mit mittelkonzentrierter Salpetersäure.

Methylnitrat hat als „Myrol“ eine Rolle als Raketentreibmittel gespielt, und zwar im Gemisch mit etwa 25 % Methylalkohol. Dieses Gemisch destilliert azeotrop, wenn Methylalkohol mit mittelstarker Salpetersäure destilliert wird. Bei knapper Rohstoffbasis war es günstig, im Myrol ein starkes Spreng- oder auch Treibmittel unter Verwendung mittelkonzentrierter Salpetersäure zu gewinnen, ohne hochkonzentrierte Salpeter- und Schwefelsäure einsetzen zu müssen.

Methylphenylurethan

Ethyl-N,N-Phenylmethylcarbanat; Methylphenylurethane; méthylphénylurethane



farblose Flüssigkeit
Bruttoformel: $C_{10}H_{13}O_2N$
Molekulargewicht: 179,2
Siedepunkt: 250 °C
Refraktion: 20/D: 1,51558
Bildungsenergie: –538,2 kcal/kg = –2253,5 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –564,7 kcal/kg = –2364,2 kJ/kg
Sauerstoffwert: –218,7 %
Stickstoffgehalt: 7,82 %

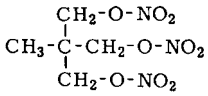
Methylphenylurethan ist ein gelatinierender → Stabilisator, insbesondere für zweibasige Pulver.

Technische Reinheitsforderungen

Dichte 20/4:	1,071–1,090 g/cm^3
Siedeanalyse:	248–255 °C
Reaktion:	neutral

Metrioltrinitrat (TMETN)

trimethylolethane trinitrate;
metriol trinitrate; trinitrate de métriol;
trinitrate de triméthylol-méthyl-méthane;
Methyltrimethylolmethantrinitrat;
Nitropentaglycerin



helle ölige Substanz
Bruttoformel: $C_5H_9O_9N_3$
Mol.-Gew.: 255,1
Bildungsenergie: –391,1 kcal/kg = –1637,4 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –415,6 kcal/kg = –1739,4 kJ/kg
Sauerstoffwert: –34,5 %
Stickstoffgehalt: 16,47 %
Normalgasvolumen: 971 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1190 kcal/kg = 4982 kJ/kg
(H_2O gas): 1094 kcal/kg = 4581 kJ/kg
Spezif. Energie: 127,1 mt/kg = 1247 kJ/kg
Dichte (20/4): 1,460 g/cm^3
Erstarrungspunkt (nach Impfung): –15 °C
Bleiblockausbauchung: 400 cm^3
Verpuffungspunkt: 182 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,02 kpm = 0,2 Nm
Reibempfindlichkeit: bis 36 kp = 353 N keine Reaktion

Das Öl ist praktisch wasserunlöslich. Die chemische Stabilität des Produktes ist außerordentlich hoch. Metrioltrinitrat läßt sich nur mäßig und nur bei höherer Temperatur mit Nitrocellulose auf einem Kalander gelatinieren. Die Flüchtigkeit des Trinitrats ist gering.

Man erhält Metrioltrinitrat durch Nitrierung von Methyltrimethylolmethan (Metriol) mit Salpetersäure/Schwefelsäure. Das Metriol entsteht durch Kondensation von Propionaldehyd mit Formaldehyd analog der Pentaerythritsynthese.

Im Zweiten Weltkrieg wurde Metrioltrinitrat im Gemisch mit Triglykoldinitrat – einem guten Gelatinator für Nitrocellulose – mit Nitrocellulose

zu sogenannten tropenfesten POL-Pulvern verarbeitet (→ Schießpulver). TMETN ist ein exzellenter Weichmacher für GAP und andere energetische Binder.

Micro Balloons

Hohlkugeln

bestehen im Durchmesser-Bereich von etwa 1/10 mm aus Glas oder Kunststoff und dienen zum Einbringen definierter Lufteinschlüsse, z. B. in Kunststoffkondensate.

In Sprengstoffmassen eingebettet bewirken „micro balloons“ eine wesentliche Verbesserung in der Aufrechterhaltung der Detonationswelle (→ Detonation; hydrodynamische Theorie), namentlich bei sehr unempfindlichen Zusammensetzungen (→ Sprengschlamm; → Emulsionssprengstoffe).

Millisekunden-Sprengen

millisecond-delay blasting; tir à microretard

Beim „Millisekunden-Sprengen“ werden die zu einem Abschlag gehörigen Sprengladungen in Verzögerungen von nur 20 bis ca. 100 Millisekunden gezündet. Die Sprengladungen unterstützen einander auf diese Weise besser. Deshalb erhält man beim Millisekunden-Sprengen ein feineres Haufwerk bzw. kommt man mit etwas weniger Sprengstoff für den gleichen Räumeffekt aus (→ Brückenzünder).

Minex

in USA verwendete gegossene Sprengladung aus Hexogen, Trinitrotoluol, Ammoniumnitrat und Aluminiumpulver.

Minol

ist ein gießbares Gemisch aus Trinitrotoluol, Ammoniumnitrat und Aluminiumpulver (40/40/20). ϱ = 1,70 g/cm^3, Detonationsgeschwindigkeit 6000 m/s.

Mischsäure

wird das aus Salpetersäure und Schwefelsäure hergestellte Gemisch genannt, das häufig zu Nitrierungen verwendet wird. Die Schwefel-

säure hat die Aufgabe, das bei der Nitrierungsreaktion freiwerdende Wasser zu binden.

Momentzünder

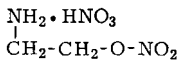
→ Sprengmomentzünder

Monergol

Bezeichnung in der Raketentechnik für ein flüssiges oder gelförmiges homogenes Treibmittel, das zur Gasbildung nicht des Hinzutretens eines anderen Reaktionspartners bedarf. Die Gasbildung kann durch katalytischen Zerfall (z. B. hochprozentiges Wasserstoffsuperoxyd oder wasserfreies Hydrazin) oder intramolekulare Umsetzung wie bei Sprengstoffen erfolgen, z. B. Propylnitrat.

Monoethanolamindinitrat

ethanol amine dinitrate; dinitrate d'éthanolamine; Ethanolamindinitrat



farblose Kristalle
Bruttoformel: $C_2H_7N_3O_6$
Sauerstoffwert: –14,2 %
Mol.-Gew.: 169,1
Sauerstoffwert: –14,2 %
Stickstoffgehalt: 24,85 %
Bildungsenergie: –629,6 kcal/kg = –2634 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –657,6 kcal/kg = –2751 kJ/kg
Normalgasvolumen: 935 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1254 kcal/kg = 5250 kJ/kg
(H_2O gas): 1090 kcal/kg = 4562 kJ/kg
Spezif. Energie: 118,8 mt/kg = 1165 kJ/kg
Dichte (gegossen): 1,53 g/cm^3
F.: 103 °C
Bleiblockausbauchung: 410 cm^3
Verpuffungspunkt: 192–193 °C

Die Verbindung ist in Wasser sehr leicht löslich, schwer löslich in kaltem Alkohol und etwas hygroskopisch.

Monoethanolamindinitrat wird durch Lösen von Monoethanolamin in konzentrierter Salpetersäure und Ausfällen mit Alkohol oder Ether unter Kühlung gewonnen.

Das Monoethanolamindinitrat ist ggf. unter Zusatz seiner Homologen, des Diethanolamintrinitrats, oder anderer Stoffe als Zusatz zu gießbaren Mischungen vorgeschlagen worden.

Monobel

einer der ältesten Wettersprengstoffe in USA (10 % Nitroglycerin, 80 % Ammoniumnitrat, 10 % verbrennbare Substanz, Holzmehl u. ä.).

MOX

bezeichnet „metal oxidizer explosives“ (USA). Zusammensetzungen sind:

MOX	1 %	2B %	3B %	4B %	6B %
Ammoniumperchlorat	35	35	–	–	–
Aluminium (Feinkorn)	26.2	52.4	47	47	49.2
Magnesium (Feinkorn)	26.2	–	–	–	–
Tetryl	9.7	–	–	–	–
Hexogen	–	5.8	29.1	29.1	28.7
TNT	–	3.9	2.0	2.0	–
Kaliumnitrat	–	–	18	–	–
Bariumnitrat	–	–	–	18	–
Kupferoxid	–	–	–	–	19.7
Wachs	–	–	0.9	0.9	0.9
Calciumstearat	1.9	1.9	2.0	2.0	–
Graphit	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5

Mündungsfeuer

muzzle flash; luer à la bouche

Als „Mündungsfeuer“ bezeichnet man die Flammenerscheinung an der Mündung eines Laufs oder Rohres beim Schuß. Das Mündungsfeuer entsteht sekundär, wenn sich die noch brennbaren Schußgase (CO, CH_4) beim Austritt aus der Mündung mit der Luft mischen.

Die Ursachen für das Auftreten des Mündungsfeuers sind noch nicht völlig aufgeklärt, ebensowenig wie die Wirkung der Zusätze zum Pulver, die das Mündungsfeuer unterdrücken (wahrscheinlich katalytischer Abbruch von Kettenreaktionen). Sicher ist, daß das Mün-

dungsfeuer durch hohe Temperatur der Verbrennungsgase, einen hohen Gasdruck und hohe Gasgeschwindigkeit beim Austritt aus der Mündung begünstigt wird.

Schnell verbrennende Pulver neigen bei der gleichen Waffe weniger zum Mündungsfeuer als langsam brennende Pulver. Entsprechend neigen auch Waffen mit hoher ballistischer Leistung (hohe Geschoßgeschwindigkeit und hoher Gasdruck) mehr zum Mündungsfeuer, das bei ihnen schwieriger zu beseitigen ist als bei Feuerwaffen geringerer Leistung.

Zur Dämpfung des Mündungsfeuers sind grundsätzlich Salze der Alkalimetalle besser geeignet als Salze der Erdalkalimetalle. Gesichert scheint auch, daß innerhalb der Alkalimetalle die mündungsfeuerdämpfende Wirkung vom Lithium zum Caesium zunimmt. Während des ersten Weltkrieges wurde meist NaCl als Mündungsfeuerdämpfer in Form von Kartuschbeutel-Vorlagen benutzt.

Später erwiesen sich die Salze des Kaliums und speziell das K_2SO_4, KNO_3 und Kalium-Bitartrat als wirkungsvoller. Weitere Mündungsfeuerdämpfer, die mit wechselndem Erfolg verwendet werden, sind Oxalate, Phosphate und Bikarbonate.

Multicord 40 und Multicord 100

sind die Handelsnamen von → Sprengschnüren, die 40 bzw. 100 g → Nitropenta pro Meter enthalten; sie werden von der WASAG CHEMIE Sythen GmbH hergestellt und vertrieben.Kennzeichnende Farbe: rot.

Solche Sprengschnüre werden zur sicheren Initiierung von → PAC (= ANFO-)Sprengstoffen eingesetzt, werden aber auch als selbständige Sprengmittel verwendet, insbesondere für → Schonendes Sprengen.

Munroe-Effekt

Die Wirkung von Hohlladungen wird in den USA als Munroe-Effekt bezeichnet, da *Munroe* diese Erscheinung 1888 beschrieben hat. Gelegentlich findet man auch Bezeichnungen wie „cavity effect“, „lined cavity effect“ (→ Hohlladungen).

Musket-Pulver

ist gekörntes (bis 1 mm) → Schwarzpulver für Schießzwecke.

Nachdetonation

verspätete Detonation einer Sprengladung. Sie kann durch Zündfehler verursacht werden, oder durch vorübergehenden Übergang der Detonation in Deflagration.

Nachflammen

Abbrennen brennbarer Schwaden von detonierten oder deflagrierten Sprengstoffen mit negativer Sauerstoffbilanz (→ auch Mündungsfeuer).

Nano-Materialien

Komponenten im Nanometerbereich besitzen außergewöhnliche Eigenschaftsspektren. Charakteristisch sind hohe Zersetzungswärmen und Energieumsatzraten, verbesserte Wärmeübertragung sowie ein geringer Anzündverzug. Verschiedene nano-Metalle werden daher mit dem Ziel einer Leistungssteigerung in Fest- oder Geltreibstoffen eingearbeitet. Daneben können nano-Materialien auch als Gelbildner fungieren.

Napalm

ist ein Brandmittel aus 90–95 % Benzin, das mit Quellmitteln in ein kolloidales Gel verwandelt wurde. Der Name leitet sich aus Naphtha und Palmitat ab, da in den USA als Verdickungsmittel Aluminiumpalmitat benutzt wurde.

Natriumchlorat

sodium chlorate; chlorate de sodium

$NaClO_3$

Mol.-Gew.: 106,4
Sauerstoffwert: +45,1 %
Dichte: 2,48 g/cm^3
F.: 248 °C

Natriumchlorat enthält zwar prozentual mehr Sauerstoff als Kaliumchlorat, es hat aber den Nachteil der Hygroskopizität. Es darf wie alle Chlorate nicht im Gemisch mit Ammoniumsalzen verwendet werden.

Seine praktische Bedeutung in Sprengmitteln ist nur gering.

Natriumnitrat

sodium nitrate; nitrate de sodium; Natronsalpeter; SN

$NaNO_3$

farblose KristalleMol.-Gew.: 85,0
Bildungsenergie: –1301 kcal/kg = –5443 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –1315 kcal/kg = –5503 kJ/kg
Sauerstoffwert: +47,1 %
Stickstoffgehalt: 16,48 %
Dichte: 2,265 g/cm^3
F.: 317 °C

Das Salz ist hygroskopisch, in Wasser sehr gut löslich, etwas weniger gut in Alkohol, Methanol und Glycerin. Es findet als Sauerstoffträger in gewerblichen Sprengstoffen und in Sprengsalpeter Verwendung.

Technische Reinheitsforderungen

Reingehalt (aus der Stickstoffbestimmung im *Lunge*-Nitrometer): nicht unter	98,5 %
Feuchtigkeit: nicht über	0,2 %
Wasser-Unlösliches: nicht über	0,05 %
NH_4-, Fe-, Al-, Ca-, Mg- und K-Salze:	keine
NaCl: nicht über	0,2 %
Na_2SO_4: nicht über	0,2 %
Reaktion:	neutral
Abel-Test nicht unter	30 min

Natriumperchlorat

sodium perchlorate; perchlorate de sodium

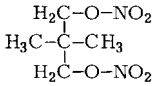
$NaClO_4$

farblose Kristalle
Mol.-Gew.: 122,4
Sauerstoffwert: +52,27 %
Dichte: 2,5 g/cm^3
F. (wasserfreies Produkt): 482 °C

$NaClO_4$ ist hygroskopisch und leicht löslich in Wasser und Alkohol. Trotz seines hohen Sauerstoffgehaltes ist ihm das restlos vergasbare und nicht hygroskopische Ammonperchlorat als Komponente für Treibmittel überlegen. Das Standardprodukt enthält ca. 1 % Kristallwasser.

Neopentylglykoldinitrat

2,2-Dimethylpropandiol dinitrat

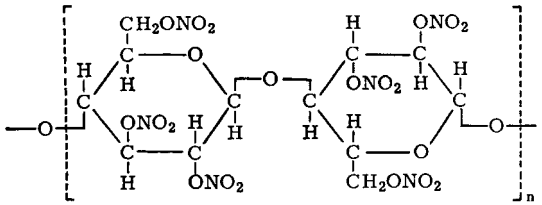


gelbliche Flüssigkeit
Bruttoformel: $C_5H_{10}N_2O_6$
Mol.-Gew.: 194,1

Dieser Salpetersäureester wird ebenfalls (→ Nitroerythrit; → Nitroglycerin) als Arzneimittel in niedrigprozentiger Zubereitung zur momentanen Herabsetzung des Blutdrucks angewendet, sein Dampfdruck ist etwa das zwanzigfache des Wertes für Nitroglycerin.

Nitrocellulose

nitrocellulose; NC



theoretisch 14,14 % Stickstoff
praktisch liegt das Maximum bei 13,5 % Stickstoff

	Bildungsenergie		Bildungsenthalpie	
% N	kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg	kJ/kg
13.3	−556.1	−2328.3	−577.4	−2417.5
13.0	−574.6	−2405.9	−596.1	−2495.7
12.5	−605.6	−2535.4	−627.2	−2626.2
12.0	−636.6	−2664.9	−658.4	−2756.6
11.5	−667.4	−2794.4	−689.6	−2887.1
11.0	−698.3	−2923.8	−720.7	−3017.4

Folgende Angaben beziehen sich auf 13,3 % N:
Sauerstoffbilanz: −29,8 %
Normalgasvolumen: 875 l/kg

Explosionswärme
(H_2O fl.): 1040 kcal/kg = 4355 kJ/kg
(H_2O gas): 963 kcal/kg = 4033 kJ/kg
Dichte: 1,67 bzw. 1,3 g/cm^3
(erreichbarer Verdichtungsgrad)
Bleiblockausbauchung: 370 cm^3
Schlagempfindlichkeit: 0,3 kpm = 3 Nm
Reibempfindlichkeit: bis 36 kp = 353 N Stiftbelastung
keine Reaktion
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest: 20 mm

Nitrocellulose ist die allgemein übliche Bezeichnung für Ester der Cellulose mit Salpetersäure (Cellulosenitrate). Nitrocellulose wird durch Einwirkung einer aus Salpeter- und Schwefelsäure bestehenden Nitriersäure auf gut gereinigte Baumwoll-Linters oder gut aufbereiteten Holzzellstoff hergestellt. Konzentration und Zusammensetzung der Nitriersäure bestimmen den jeweiligen Veresterungsgrad, der durch den Stickstoffgehalt charakterisiert wird.

Das rohe Nitrierprodukt wird zunächst durch Abzentrifugieren von der Hauptmenge der Säure befreit und durch anschließende Vor- und Nachkochoperationen stabilisiert. Die abgeschleuderte Säure geht nach erfolgter Auffrischung wieder in den Umlauf zurück und wird für neue Nitrierungen verwendet. Bei der Nitrierung bleibt die ursprüngliche Form und das Aussehen der Cellulose erhalten. Durch nachfolgendes Druckkochen der Nitrocellulose erhält man schließlich die gewünschte Viskositätseinstellung. Pulver-Collodiumwollen und Dynamit-Collodiumwollen werden im Holländer oder in der Kegelstoffmühle (Refiner) auf eine bestimmte Faserlänge geschnitten. Neben Celluloidwollen und den besonders zahlreichen Lackwolletypen, welche ester- und alkohollösliche Collodiumwollen mit einem Stickstoffgehalt von 10,3–12,3 % in allen technisch gebräuchlichen Viskositätseinstellungen umfassen, werden folgende Nitrocellulosetypen gefertigt:

Schießwollen (engl. gun cotton)	mit 13,0 – 13,4 % N,
Pulver-Collodiumwollen	mit 12,0 – 12,6 % N,
PE-Wollen	mit 11,0 – 11,6 % N,
Dynamit-Collodiumwollen (engl. blasting soluble nitrocotton)	mit 12,2 – 12,3 % N,
Ester- und alkohollösliche Collodiumwollen, Celluloidwollen (Lackwollen)	mit 10,3 – 12,3 % N.

Die oben genannten Typen werden im N-Gehalt und in der Viskosität auf den jeweiligen Verwendungszweck besonders eingestellt und ggf. auch abgemischt geliefert.

Spärisch NC-Partikel werden unter ständigem Rühren aus Lösungen ausgefällt, und bevorzugt zur Herstellung von gegossenen oder von composit double base Treibstoffen eingesetzt.

Anwendungsgebiete für technische Collodiumwollen

Typen	Löslichkeit	Viskosität	Anwendungsgebiete
E 4 und E 6	E	besonders hochviskos	Zaponlacke, Lederlacke, Glühstrumpf-Tauchlösungen, Abbeizmittel, medizin. Collodium
E 9	E	hochviskos	Lederlacke, Zaponlacke, Bleistiftlacke, Tränk- und Spannlacke für Textilien, Kabellacke, Bronzelacke, Kitte, Spachtelmassen
E 13 und E 15	E	mittelviskos	Zaponlacke, Lacke für Narben- und Spaltleder, Kunstleder, Klebstoffe
E 21 und E 24	E	mittelviskos	Eisenbahnlacke, Karosserielacke, Maschinenlackfarben, Schnellschliffgrund, Möbellacke, Mattinen, Holz-Tauchlacke, Holz-Porenfüller, Papierlacke, Kitte, Klebstoffe
E 27	E	besonders niedrigviskos	Holz-Polierlacke, füllkräftige Möbel- und Metallacke, Papierlacke
E 30 und E 33	E	extrem niedrigviskos	hochkörperreiche Holzlacke, Kombinationslacke, Spachtel, Porenfüller, Nitrocellulose-Einbrennlacke, Druckfarben
A 15	A	hoch-, mittelviskos	Lederlacke, geruchschwache Lacke, Nitrocellulose-Schellack-Polituren
A 21, A 24 und A 28	A	niedrigviskos	Aluminiumfolienlacke, Geltauchlacke, Holz-Polierlacke, Mattinen, Druckfarben, geruchschwache Lacke

Löslichkeit: E = esterlöslich
A = alkohollöslich

Alle Nitrocellulosen sind in Aceton löslich. Die Viskosität der Lösungen variiert außerordentlich. Bei den WASAG-Collodiumwollen gibt die Kennziffer neben dem Kennbuchstaben den Trockenwollegehalt (in Prozent) einer Lösung an, welche eine bestimmte genormte Viskosität aufweist.

Der Versand von Nitrocellulose erfolgt in dicht verschließbaren Fässern oder in Pappfässern mit Kunststoffsack, mit mindestens 25 % Anfeuchtungsmittel (Wasser, Alkohol, Isopropanol, Butanol u. a.).

Technische Reinheitsforderungen

Die Sollwerte für den Stickstoffgehalt, für die Löslichkeit in Alkohol, in Alkohol-Ethergemisch und in Ester, für die Viskosität usw. variieren für die verschiedenen Nitrocellulosetypen. Der Stickstoffgehalt soll nicht mehr als ± 0,2 % vom Sollwert abweichen.

Folgende Reinheitsforderungen gelten für alle Nitrocellulosetypen:

Bergmann-Junk-Test bei 132 °C: nicht über	2,5 cm^3/g NO
Aschegehalt: nicht über	0,3 %
Aceton-Unlösliches: nicht über	0,4 %
Alkali als $CaCO_3$: nicht über	0,05 %
Sulfate als H_2SO_4: nicht über	0,05 %
$HgCl_2$:	frei

Bei gemahlener Nitrocellulose (z. B. Schießwolle und Dynamitwolle) können Forderungen nach der Faserlänge bestehen, die nach der „Russischen Methode“, der Bestimmung der Sedimentierhöhe einer Aufschüttelung in Wasser ermittelt werden.

Nitrocellulose für gelatinöse Sprengstoffe muß Nitroglycerin bei 60 °C innerhalb 5 Minuten vollständig gelatinieren.

Linters als Rohstoff:

Daten

$(C_6H_{10}O_5)_n$
weiße Fasern
Molekulargewicht der Struktureinheit: 162,14

Technische Reinheitsforderungen

α-Cellulosegehalt als Unlösliches in 17,5 %iger NaOH: mindestens	96 %
Fette und Harze als Unlösliches in CH_2Cl_2: nicht über	0,2 %
Feuchtigkeit: nicht über	7 %
Aschegehalt: nicht über	0,4 %
Aussehen: homogen weiß oder blaßgelb, frei von Verunreinigungen (Knoten; Kapselresten).	

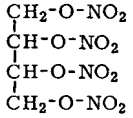
Nitrocellulose-Pulver

single base powder; poudre à simple base

bestehen im wesentlichen aus Nitrocellulose und Stabilisatoren neben anderen Zusätzen, wie z. B. etwas Dinitrotoluol in manchen Rezepturen. Nitrocellulose wird mit Hilfe von Lösemitteln, meistens Ether-Alkohol, unter Beifügung der Zusätze unter längerem Kneten gelatiniert, in Formgebung (Röhren, Mehrfach-Loch-Röhrchen, Blättchen) durch Strangpreß- und Schneidevorgänge gebracht, vom Lösemittel durch Verdampfenlassen, Wässern, Vakuumtrocknen usw. befreit und oberflächenbehandelt. Die Oberflächenbehandlung erreicht, durch Eindiffundierenlassen von phlegmatisierenden Stoffen den Abbrand in den ersten oberflächennahen Schichten zu verlangsamen und der Abbrandfolge einen progressiven Charakter zu geben (→ Progressiv-Pulver).

Nitroerythrit

erythritol tetranitrate; tétranitrate d'érythritol; Erythrittetranitrat; Tetranitroerythrit



farblose Kristalle
Bruttoformel: $C_4H_6N_4O_{12}$
Mol.-Gew.: 302,1
Sauerstoffwert: +5,3 %
Stickstoffgehalt: 18,55 %
Bildungsenergie: –376,0 kcal/kg = –1573 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –397,5 kcal/kg = –1663 kJ/kg
Normalgasvolumen: 765 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1517 kcal/kg = 6352 kJ/kg
(H_2O gas): 1419 kcal/kg = 5939 kJ/kg
Spezif. Energie: 111,2 mt/kg = 1090 kJ/kg
F.: 61,5 °C
Dichte: 1,6 g/cm^3
Verpuffungspunkt: bei 154–160 °C starke Explosion
Schlagempfindlichkeit: 0,2 kp m = 2 Nm
Reibempfindlichkeit: bei 6 kp = 60 N Stiftbelastung Reaktion

Nitroerythrit ist unlöslich in kaltem Wasser, löslich in Alkohol und Ether. Man gewinnt Nitroerythrit durch Eintragen von Erythrit (F. 120 °C) in

konzentrierte Salpetersäure unter guter Kühlung und Fällung durch Zusatz von konzentrierter Schwefelsäure. Es kristallisiert aus Alkohol in farblosen Platten.

Nitroerythrit ist, schon wegen seiner hohen Empfindlichkeit, ohne sprengtechnisches Interesse, wird jedoch als Arzneimittel in niedrigprozentiger Zubereitung angewendet; es wirkt momentan Blutdruck-herabsetzend.

Nitroethan

nitroethane; nitroéthane

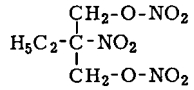
farblose FlüssigkeitBruttoformel: $C_2H_5NO_2$
Mol.-Gew.: 75,07
Bildungsenergie: –425,8 kcal/kg = –1782,6 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –457,3 kcal/kg = –1914,7 kJ/kg
Sauerstoffwert: –95,9 %
Stickstoffgehalt: 18,66 %
Normalgasvolumen: 1277 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 744 kcal/kg = 3115 kJ/kg
(H_2O gas): 691 kcal/kg = 2893 kJ/kg
Spezifische Energie: 86 mt/kg = 841 kJ/kg
Dichte: 1,053 g/cm^3
Kp.: 114 °C

Technisch werden heute die Nitroparaffine über die „Dampfphasennitrierung“ mit Salpetersäuredampf gewonnen, so auch das Nitroethan. Die jeweiligen Nitrierprodukte (Nitromethan, Nitroethan, Nitropropan) müssen durch Destillation getrennt werden.

Alle diese Produkte können mit Formaldehyd zu mehrwertigen Nitroalkoholen umgesetzt werden, die weiterhin mit Salpetersäure verestert werden können.

Nitroethylpropandioldinitrat

nitroethylpropanediol dinitrate; dinitrate d'éthyl-nitropropandiol



Bruttoformel: $C_5H_9N_3O_8$
Mol.-Gew.: 239,2
Bildungsenergie: –342,4 kcal/kg = –1433 kJ/kg

Bildungsenthalpie: –367,2 kcal/kg = –1536 kJ/kg
Sauerstoffwert: –43,5 %
Stickstoffgehalt: 17,57 %
Normalgasvolumen: 1032 l/kg
Explosionswärme (H_2O gas): 1013 kcal/kg = 4239 kJ/kg
Spezif. Energie: 124,1 mt/kg = 1217 kJ/kg

Das Produkt entsteht durch Kondensation von 1-Nitropropan mit Formaldehyd und Nitrierung des entstandenen Nitroethylpropandiols.

Nitroform

nitroform; nitroforme; Trinitromethan

stechend riechendes Öl
Bruttoformel: CHN_3O_6
Mol.-Gew.: 151,0
Sauerstoffwert: +37,1 %
Stickstoffgehalt: 27,83 % N
Dichte: 1,59 g/cm^3
F.: 22 °C
Kp. (bei 17 mm): 48 °C

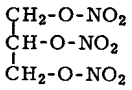
Nitroform entsteht beim Einleiten von Acetylen in Salpetersäure, kann aber auch von Tetranitromethan ausgehend hergestellt werden.

Nitroform ist für sich allein weder als Sauerstoffträger noch als sprengkräftige Substanz praktisch verwendbar. Man kann jedoch Nitroform und Formaldehyd zu Trinitroethyl-Alkohol addieren und von hier aus sprengkräftige Verbindungen ableiten, z. B.

→ Di-(2,2,2-trinitroethyl)-harnstoff
und → Di-(2,2,2-trinitroethyl)-nitramin.

Nitroglycerin

nitroglycerin, glyceroltrinitrate; nitroglycérine; Glycerintrinitrat; Trinitroglycerin; NG; Ngl.



gelbliche, ölartige Flüssigkeit
Bruttoformel: $C_3H_5N_3O_9$

Mol.-Gew.: 227,1
Bildungsenergie: –368,0 kcal/kg = –1540,7 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –390,2 kcal/kg = –1633,5 kJ/kg
Sauerstoffwert: +3,5 %
Stickstoffgehalt: 18,50 %
Normalgasvolumen: 782 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1595 kcal/kg = 6676 kJ/kg
(H_2O gas): 1485 kcal/kg = 6218 kJ/kg
Spezif. Energie: 114,7 mt/kg = 1125 kJ/kg
Dichte: 1,599 g/cm^3
F. stabile Modifikation: 13,2–13,5 °C
labile Modifikation: 1,9–2,2 °C
Spezifische Wärme: 0,32 kcal/kg = 1,3 kJ/kg

Dampfdruck:

Millibar	Temperatur °C
0,00033	20
0,0097	50
0,13	80
0,31	90

Bleiblockausbauchung: 520 cm^3
Detonationsgeschwindigkeit: 7600 m/s bei
ϱ = 1,599 g/cm^3
Schlagempfindlichkeit: 0,02 kp m = 0,2 Nm
Reibempfindlichkeit: bis 36 kp Stiftbelastung
keine Reaktion
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest: 24 mm
Verpuffungspunkt: 223–225 °C

In Wasser praktisch unlöslich, wird es von fast allen organischen Lösungsmitteln leicht aufgenommen; schwer löslich ist es in Schwefelkohlenstoff. Es löst viele aromatische Nitrokörper leicht auf und bildet mit Collodiumwolle Gelatinen. Seine Flüchtigkeit ist verschwindend klein, genügt aber, um bei empfindlichen Personen Kopfschmerzen hervorzurufen.

Das säurefreie Produkt ist sehr stabil, aber außerordentlich schlagempfindlich. Da der Transport von Nitroglycerin sowie von anderen flüssigen Salpetersäureestern nur in Lösungen von nicht explosiven Lösungsmitteln und in Mischungen mit feinpulverisierten inerten Stoffen bis zu einem Gehalt von 5 % Nitroglycerin behördlicherseits erlaubt ist, muß Nitroglycerin wie alle flüssigen explosiven Salpetersäureester am Herstellungsort verarbeitet werden.

Nitroglycerin wird durch Zufließenlassen von höchst konzentriertem, fast wasserfreiem und fast chemisch reinem Glycerin (Dynamitglycerin) in ein hochkonzentriertes Gemisch von Salpetersäure und Schwefelsäure bei guter Kühlung und Rührung hergestellt. Nach beendeter Reaktion wird das abgeschiedene Nitroglycerin durch Waschen mit kaltem und warmem Wasser und mit einer schwach alkalischen Sodalösung von der Säure befreit und filtriert.

Für die Herstellung des Nitroglycerins in einer Sprengstoffabrik als relativ handhabungsgefährlicher Substanz war die Herstellung auf kontinuierlichem Wege immer von höchstem Interesse, da man möglichst kleine Mengen in den einzelnen Fabrikationsstufen haben möchte. Aus diesem Grunde haben sich mehrere miteinander konkurrierende Verfahren, die sich insbesondere des Sicherheitsproblems in der einen oder anderen Form annehmen, entwickelt *(Schmid, Meissner, Biazzi, Kontinitro)*. Die neuesten Verfahren führen Glycerin und Säure mittels Injektoren zusammen (*Nitroglycerin* AB).

Nitroglycerin ist einer der wichtigsten und meistgebrauchten Sprengstoffbestandteile; es ist zusammen mit Nitroglykol die Grundsubstanz der gelatinösen gewerblichen Sprengstoffe. Mit Nitrocellulose und Stabilisatoren verarbeitet, ist es weiterhin ein grundlegender Bestandteil von Treibmitteln, Pulvern und Raketenfesttreibstoffen.

Nitroglycerin kann gefrieren (bei +10 °C). Handelssprengstoffe enthalten immer Zusätze (→ Nitroglykol), die das Gefrieren verhindern. Säurereste müssen vollständig aus Nitroglycerin entfernt werden, da diese zu exothermen, autokatalytischen Zersetzungen führen können.

Technische Reinheitsforderungen

1. an Nitroglycerin als Sprengstoffbestandteil:	18,35 %
Stickstoffgehalt: mindestens	
Abeltest: mindestens	10 Min.
2. an Nitroglycerin als Treibstoffkomponente:	18,40 %
Stickstoffgehalt: mindestens	
Feuchtigkeit: höchstens	0,5 %
Alkalität, als Na_2CO_3: höchstens	0,002 %
Säure, als HNO_3: höchstens	0,002 %
3. an Glycerin, als Vorprodukt:	nicht unangenehm stechend
Geruch	
Farbe	klar, möglichst hell
Reaktion gegen Lackmus	neutral
Anorganische Verunreinigung	keine
Reduzierende Substanzen (Prüfung mit ammoniakal. $AgNO_3$)	höchstens Spuren
Eiweißstoffe	höchstens Spuren
Fettsäuren	höchstens Spuren

Asche	höchstens 0,03 %
Wasser	höchstens 0,50 %
Oxidationswert	mindestens 98 %
Spezifisches Gewicht	1,259–1,261 g/cm^3 (20/4)
Refraktion 20/D:	1,4707–1,4735
Säure: höchstens	0,3 ml n/10 NaOH/100 ml
Alkalität: höchstens	0,3 ml n/10 HCl/100 ml

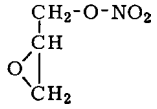
Nitroglycerin-Pulver

double base powder; poudres à double base

sind zweibasige Schießpulver, deren Hauptbestandteil Nitrocellulose und Nitroglycerin sind. → POL-Pulver, Cordite, Ballistit, Schießpulver.

Nitroglycid

Glycidnitrat



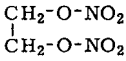
wasserhelle Flüssigkeit
Bruttoformel: $C_2H_5NO_4$
Mol.-Gew.: 119,1
Sauerstoffwert: –60,5 %
Stickstoffgehalt: 11,76 %
Normalgasvolumen: 1122 l/kg
Explosionswärme (H_2O fl.): 733 kcal/kg =3070 kJ/kg
Spezif. Energie: 87,6 mt/kg = 859 kJ/kg
Dichte: 1,332 g/cm^3 (20/4) Kp. 94 °C (bei 20 mm)
Bleiblockausbauchung: 310 cm^3
Verpuffungspunkt: 195–200 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,2 kp m = 2 Nm

Nitroglycid löst sich in Alkohol, Ether, Aceton und Wasser. Es ist leicht flüchtig.

Dieser Salpetersäureester des Glycides wird aus Dinitroglycerin durch Abspaltung eines Moleküls HNO_3 mittels konz. Alkalien gewonnen. Es ist das Anhydrid des Glycerinmononitrats. Nitroglycide ist eine Vorstufe zu Polyglyn.

Nitroglykol

nitroglycol; ethylene glycol dinitrate; dinitrate de glycol; Ethylenglykoldinitrat; Dinitroglykol; Glykoldinitrat; EGDN



farblose, ölige Flüssigkeit
Bruttoformel: $C_2H_4N_2O_6$
Mol.-Gew.: 152,1
Bildungsenergie: –358,2 kcal/kg = –1499,7 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –381,6 kcal/kg = –1597,5 kJ/kg
Sauerstoffwert: ± 0 %
Stickstoffgehalt: 18,42 %
Normalgasvolumen: 816 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1742 kcal/kg = 7294 kJ/kg
(H_2O gas): 1612 kcal/kg = 6748 kJ/kg
Spezif. Energie: 121,3 mt/kg = 1190 kJ/kg
Dichte: 1,48 g/cm^3
Brechungsindex: n^D_{25} = 1,4452
F.: –22 °C

Dampfdruck:

Millibar	Temperatur °C
0,006	0
0,05	20
0,35	40
1,7	60
7,8	80
29	100

Bleiblockausbauchung: 620 cm^3
Detonationsgeschwindigkeit: 7300 m/s bei
ϱ = 1,48 g/cm^3
Verpuffungspunkt: 217 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,02 kp m = 0,2 Nm
Reibempfindlichkeit: bei 36 kp = 353 N Stiftbelastung
keine Reaktion
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest: 24 mm

Nitroglykol ist nicht hygroskopisch, wenig löslich in Wasser, leicht löslich in den meisten organischen Lösemitteln; seine Eigenschaften und Leistungsdaten sind fast die gleichen wie die des Nitroglycerins;

es ist merklich flüchtiger, etwa viermal wasserlöslicher, niedriger viskos und gelatiniert Nitrocellulose schneller als Nitroglycerin.

Glykol kann, wie Glycerin, in denselben Apparaturen – also auch kontinuierlich – nitriert werden. Dasselbe gilt für die Scheidung und das Waschen. Diese Operationen lassen sich bei dem weniger dickflüssigen Glykol sogar leichter durchführen als bei Glycerin.

Nitroglykol wird in Mischung mit Nitroglycerin verwendet, da es den Gefrierpunkt des Nitroglycerins stark herabsetzt. Die → Ammon-Gelite enthalten als Hauptkraftträger nur Nitroglykol und sind deshalb bei Wintertemperaturen bis zu minus 20 °C ungefrierbar.

Der Dampfdruck des Nitroglykols ist erheblich höher als der des Nitroglycerins. In Treibsätzen ist daher Nitroglykol nicht verwendbar.

Wie alle Salpetersäureester beeinflußt Nitroglykol den Kreislauf sehr intensiv. Die maximale Arbeitsplatzkonzentration („MAK-Wert“) beträgt 0,25 ppm = 1,6 mg/m^3 mit dem Hinweis H = Hautresorption.

Technische Reinheitsforderungen

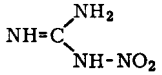
Stickstoffgehalt: nicht unter	18,30 %
Abel-Test: nicht unter	15 min.

Technische Reinheitsforderungen an Glykol als Vorprodukt

Reingehalt (durch Oxidation mit Dichromat): mindestens	98 %
Dichte 20/4	1,1130–1,1134
Gehalt an Diglykol und Triglykol (Vakuumsdestillationsrückstand): nicht über	2,5 %
Feuchtigkeit: nicht über	0,5 %
Glührückstand: nicht über	0,02 %
Chloride:	keine
Reaktion:	neutral
reduzierende Bestandteile (Test mit NH_3–$AgNO_3$):	keine
Probenitrierung: kein Auftreten roter Dämpfe; Ausbeute: mindestens	230 %

Nitroguanidin

nitroguanidine; picrite; Guanite; Nigu; NQ



weiße, faserige Kristalle
Bruttoformel: $CH_4N_4O_2$
Mol.-Gew.: 104,1
Bildungsenergie: –184,9 kcal/kg = –774,0 kJ/kg

Bildungsenthalpie: –213,3 kcal/kg = –893,0 kJ/kg
Sauerstoffwert: –30,7 %
Stickstoffgehalt: 53,83 %
Normalgasvolumen: 1075 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 731 kcal/kg = 3062 kJ/kg
(H_2O gas): 651 kcal/kg = 2724 kJ/kg
Spezif. Energie: 95,0 mt/kg = 932 kJ/kg
Dichte: 1,71 g/cm^3
F. (Zersetzung): 246 °C
Bleiblockausbauchung: 305 cm^3
Detonationsgeschwindigkeit: 8200 m/s bei Maximaldichte
Verpuffungspunkt: keine Entzündung ab 240 °C Zersetzung
Schlagempfindlichkeit: bis 5 kp = 50 Nm keine Reaktion
Reibempfindlichkeit: bis 36 kp = 353 N Stiftbelastung keine Reaktion
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest: bei 1 mm keine Entzündung

Nitroguanidin ist löslich in heißem Wasser, fast unlöslich in kaltem Wasser, sehr wenig löslich in Alkohol, unlöslich in Ether, leicht löslich in Alkali. Die chemische Stabilität ist hervorragend.

Aus Dicyandiamid und Ammonnitrat gewonnenes Guanidinnitrat wird durch Wasserentzug mittels konzentrierter Schwefelsäure in Nitroguanidin übergeführt.

Nitroguanidin läßt sich in Nitrocellulosepulver, Nitroglycerin- bzw. Diglykoldinitratpulver einarbeiten; es geht zwar im Pulvergel nicht in Lösung, sondern ist fein verteilt eingebettet. Diese „kalten“, weil kalorienarmen Pulver greifen Geschützrohre weit weniger an als die üblichen „heißen“ Pulver.

Nitroguanidin hat den Vorteil, mündungsfeuerdämpfend zu wirken, allerdings muß bei seiner Verwendung etwas stärkere Rauchentwicklung in Kauf genommen werden.

Nitroguanidin ist ferner eine wichtige Komponente in Treibsätzen für Festtreibstoffraketen, die als „Marschsätze“ einen langsameren Abbrand haben sollen.

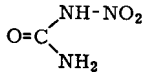
Technische Reinheitsforderungen

Typ 1:		
Korngröße	4,2–6,0 µm	
Reingehalt (Bestimmung mit Nitrometer oder mit $CrCl_2$)	mindestens	98 %
Typ 2:		
Korngröße	höchstens	3,3 µm

Reingehalt	mindestens	99 %
beide Typen:		
Aschegehalt	höchstens	0,30 %
Säuregehalt, als H_2SO_4	höchstens	0,06 %
Flüchtige Bestandteile	höchstens	0,25 %
Sulfate	höchstens	0,20 %
Wasser-Unlösliches	höchstens	0,20 %
pH:	4,5–7,0	

Nitroharnstoff

nitrourea; nitro-urée



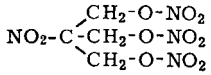
Bruttoformel: $CH_3N_3O_3$
Mol.-Gew.: 105,1
Bildungsenergie: –614,3 kcal/kg = –2570 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –639,7 kcal/kg = –2677 kJ/kg
Sauerstoffwert: –7,6 %
Stickstoffgehalt: 39,98 %
Normalgasvolumen: 853 l/kg
Explosionswärme (H_2O fl.): 898 kcal/kg = 3759 kJ/kg
Spezif. Energie: 93,1 mt/kg = 913 kJ/kg
F. (mit Zersetzung): 158 °C

Nitroharnstoff löst sich in Benzol, Ether und Chloroform; mit Wasser zersetzt er sich.

Nitroharnstoff entsteht durch Dehydratisierung von Harnstoffnitrat mittels Schwefelsäure.

Nitroisobutylglycerintrinitrat

nitroisobutylglycerol trinitrate; trinitrate de nitroisobutylglycérine; Trimethylolnitromethantrinitrat; Nitroisobutantrioltrinitrat; nib-glycerintrinitrate; Nitropropantrioltrinitrat; Nitromethantrimethyloltrinitrat; NIBTN



gelbliches, dickflüssiges Öl
Bruttoformel: $C_4H_6N_4O_{11}$
Mol.-Gew.: 286,1
Bildungsenergie: –169,1 kcal/kg = –708,0 kJ/kg

Bildungsenthalpie: –190,8 kcal/kg = –799,0 kJ/kg
Sauerstoffwert: ± 0 %
Stickstoffgehalt: 19,58 %
Normalgasvolumen: 801 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1831 kcal/kg = 7666 kJ/kg
(H_2O gas): 1727 kcal/kg = 7230 kJ/kg
Spezif. Energie: 124,9 mt/kg = 1225 kJ/kg
Dichte: 1,68 g/cm^3
F.: –35 °C
Bleiblockausbauchung: 540 cm^3
Detonationsgeschwindigkeit: 7600 m/s bei
ϱ = 1,68 g/cm^3
Verpuffungspunkt: 195 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,2 kp m = 2 Nm

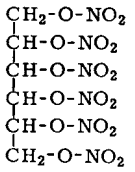
Die Verbindung ist weniger flüchtig als Nitroglycerin, praktisch unlöslich in Wasser und Benzin, löslich in Alkohol, Aceton, Ether, Benzol, Chloroform und ein guter Gelatinator für Collodiumwolle. Die Sprengkraft ist der von Nitroglycerin gleich.

Das Nitroisobutylglycerintrinitrat wird durch Kondensation von Formaldehyd mit Nitromethan und Nitrierung des entstandenen Nitroisobutylglycerins unter denselben Bedingungen wie Nitroglycerin hergestellt.

Die an sich für die Sprengstoffindustrie interessante Verbindung, die zudem in der Sauerstoffbilanz voll ausgeglichen ist, läßt sich praktisch nicht stabilisieren.

Nitromannit

mannitol hexanitrate; hexanitrate de mannitol; Mannithexanitrat; Hexanitromannit; MHN



farblose Kristallnadeln
Bruttoformel: $C_6H_8N_6O_{18}$
Mol.-Gew.: 452,2
Bildungsenergie: –319,6 kcal/kg = –1338 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –340,6 kcal/kg = –1424 kJ/kg
Sauerstoffwert: +7,1 %
Stickstoffgehalt: 18,59 %
Normalgasvolumen: 755 l/kg

Explosionswärme
(H_2O fl.): 1504 kcal/kg = 6296 kJ/kg
(H_2O gas): 1416 kcal/kg = 5928 kJ/kg
Spezif. Energie: 110,8 mt/kg = 1087 kJ/kg
Dichte: 1,604 g/cm^3
F.: 112–113 °C
Bleiblockausbauchung: 510 cm^3
Detonationsgeschwindigkeit: 8260 m/s bei
ϱ = 1,73 g/cm^3
Verpuffungspunkt: 185 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,08 kpm = 0,8 Nm

Nitromannit ist unlöslich in Wasser, löslich in Aceton, Ether und heißem Alkohol, schwierig stabilisierbar.

Nitromannit wird durch Lösen von Mannit in kalter konzentrierter Salpetersäure und Ausfällen durch Zusatz von kalter konzentrierter Schwefelsäure hergestellt. Das Rohprodukt wird mit verdünnter Bikarbonatlösung und danach mit Wasser gewaschen und aus heißem Alkohol umkristallisiert.

In den Vereinigten Staaten wurde Nitromannit zur Herstellung von Sprengkapselfüllungen verwendet.

Nitromethan

nitromethane; nitrométhane; NM

CH_3NO_2

farblose FlüssigkeitMol.-Gew.: 61,0
Bildungsenergie: –413,7 kcal/kg = –1732,2 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –443,1 kcal/kg = –1854,0 kJ/kg
Sauerstoffwert: –39,3 %
Stickstoffgehalt: 22,96 %
Normalgasvolumen: 1102 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1149 kcal/kg = 4811 kJ/kg
(H_2O gas): 1026 kcal/kg = 4294 kJ/kg
Spezif. Energie: 126,9 mt/kg = 1245 kJ/kg
Dichte: 1,14 g/cm^3 (20/4)
F.: –29 °C
Siedepunkt: 101,2 °C
Verdampfungswärme: 151 kcal/kg = 631 kJ/kg

Dampfdruck:

Millibar	Temperatur °C
1,3	– 29 (Erstarrungspunkt)
10	0
32	20
140	50
283	80
1010	101,2 (Siedepunkt)

Bleiblockausbauchung: 430 cm^3
Detonationsgeschwindigkeit: 6210 m/s bei
ϱ = 1,14 g/cm^3
Flammpunkt: 35 °C

Nitromethan ist in Wasser etwas löslich.

Seine technische Synthese verläuft über eine Dampfphasennitrierung von Methan mit Salpetersäure bei Temperaturen über 400 °C.

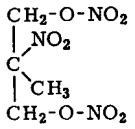
Eine Mischung Nitromethan/Ethylendiamin 95/5 wird in den USA als PLX (*Picatinny L*iquid *E*xplosive) bezeichnet und ist für Räumungssprengungen von Minenfeldern vorgesehen.

Nitromethan wurde ferner in den USA für unterirdische Modell-Sprengungen benutzt („Pre-Gondola“), um die Erprobung → nuklearer Sprengsätze vorzubereiten.

Nitromethan beansprucht Interesse als sowohl monergolischer als auch in Kombinationen verwendeter flüssiger Raketentreibstoff.

Nitromethylpropandioldinitrat

nitromethylpropandiol dinitrate; dinitrate de 2-methyl-2-nitropropandiol; Nitromethylmethandimethyloldinitrat; Methylnitropropandioldinitrat



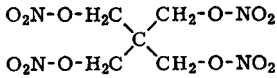
Bruttoformel: $C_4H_7N_3O_8$
Mol.-Gew.: 225,1
Sauerstoffwert: –24,88 %
Stickstoffgehalt: 18,67 %
Normalgasvolumen: 907 l/kg

Explosionswärme
(H_2O fl.): 1265 kcal/kg = 5297 kJ/kg
(H_2O gas): 1163 kcal/kg = 4871 kJ/kg
Spezif. Energie: 126,4 mt/kg = 1239 kJ/kg

Das Produkt entsteht durch Kondensation von → Nitroethan mit Formaldehyd und Nitrierung des entstandenen Nitromethylpropandiols.

Nitropenta

pentaerythritol tetranitrate; tétranitrate de pentaérythritol; Pentaerythrittetranitrat; Pentryl; Pentrit; Penta; Nitropentaerythrit; Niperyt; Pentaryth; Corpent; PETN



farblose Kristalle
Bruttoformel: $C_5H_8N_4O_{12}$
Mol.-Gew.: 316,2
Bildungsenergie: –384,9 kcal/kg = –1611,7 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –407,4 kcal/kg = –1705,8 kJ/kg
Sauerstoffwert: –10,1 %
Stickstoffgehalt: 17,72 %
Normalgasvolumen: 823 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1507 kcal/kg = 6311 kJ/kg
(H_2O gas): 1399 kcal/kg = 5856 kJ/kg
Spezif. Energie: 122,8 mt/kg = 1204 kJ/kg
F.: 141,3 °C
Schmelzwärme: 36,4 kcal/kg = 152 kJ/kg
spezifische Wärme: 0,26 kcal/kg = 1,09 kJ/kg

Sublimationsdruck:

Millibar	Temperatur °C
0,0011	97,0
0,0042	110,6
0,015	121,0
0,050	131,6
0,094	138,8

Dichte: 1,77 g/cm^3
Bleiblockausbauchung: 523 cm^3

Detonationsgeschwindigkeit: 8400 m/s
bei Maximaldichte
Verpuffungspunkt: 202–205 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,3 kp m = 3 Nm
Reibempfindlichkeit: bei 6 kp Stiftbelastung Reaktion
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest: 6 mm

Nitropenta ist sehr stabil, unlöslich in Wasser, schwer löslich in Alkohol, Ether, Benzol, löslich in Aceton und Methylacetat.

Nitropenta wird durch Eintragen von Pentaerythrit in konzentrierte Salpetersäure unter guter Kühlung hergestellt. Der größte Teil des gebildeten Tetranitrats kristallisiert hierbei aus der Säure aus. Zur Ausfällung des Restes genügt eine Verdünnung auf ca. 70 % HNO_3. Das gewaschene Rohprodukt wird zur Reinigung aus Aceton umgefällt.

Nitropenta ist bei guter Stabilität und verhältnismäßig geringer Empfindlichkeit einer der kräftigsten und brisantesten Sprengstoffe. Es wird zu hochwirksamen Sprengkapselfüllungen und Sprengschnüren verwendet. Mit etwas Wachs phlegmatisiert und gepreßt, dient es zur Herstellung von Übertragungsladungen und Geschoßfüllungen kleinerer Kaliber.

Nitropenta läßt sich auch in gelatinöse, gewerbliche Sprengstoffe einmischen und ist als „Pentrinit“ hierfür vorgeschlagen worden, hat sich jedoch seines relativ hohen Preises wegen auf diesem Sektor nicht durchsetzen können.

Technische Reinheitsforderungen

Schmelzpunkt:	mindestens	140 °C
Stickstoffgehalt:	mindestens	17,40 %
Abspaltung nach		
Bergmann-Junk bei 132°:	höchstens	2 ml NO/g
Verpuffungspunkt:	mindestens	190 °C
Acetonunlöslich:	höchstens	0,1 %
Acidität als HNO_3:	höchstens	0,005 %
Alkalität als Na_2CO_3:	höchstens	0,005 %

Pentaerythrit als Rohstoff:

Daten

$C(CH_2OH)_4$
Molekulargewicht: 136,2
F.: 260,5 °C

Technische Reinheitsforderungen

Schmelzbeginn: nicht unter	230 °C
Feuchtigkeit: nicht über	0,5 %
Chloride:	keine
Sulfate als H_2SO_4: nicht über	0,5 %

Reaktion:	neutral
Reduzierende Bestandteile ($AgNO_3$-NH_3-Test): nur	Spuren

Nitrostärke

nitrostarch; nitrate d'amidon; Stärkenitrat

$[C_6H_7O_2(ONO_2)_3]_n$

schwach gelbliches Pulver
Sauerstoffwert (bei 12,2 % N): –35 %
Dichte: 1,1 g/cm^3
Bleiblockausbauchung: 356 cm^3
Verpuffungspunkt: 183–185 °C
Schlagempfindlichkeit: 1,1 kp m = 11 Nm

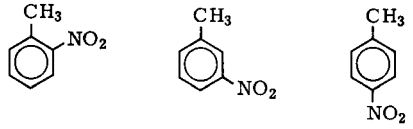
Nitrostärke ist unlöslich in Wasser und Ether, löslich in Ether/Alkohol und Aceton.

Nitrostärke wird mit wechselndem Stickstoffgehalt, 12–13,3 %, durch Nitrieren von Stärke mit Salpetersäure oder Mischsäuren hergestellt. Das anfallende Rohprodukt wird mit kaltem Wasser gewaschen und danach bei 35–40 °C getrocknet.

Nitrostärke ist der Nitrocellulose in vielen Beziehungen ähnlich, hat aber infolge ihrer geringen Stabilität, der schwierigen Herstellung und ihrer Aufnahmefähigkeit für Feuchtigkeit außer in den Vereinigten Staaten keine weitere Anwendung gefunden.

Nitrotoluol

nitrotoluene; nitrotoluène



ortho- meta- para-

Bruttoformel: $C_7H_7O_2N$
Mol.-Gew.: 137,1
Sauerstoffwert: –180,85 %
Stickstoffgehalt: 10,22 %

Mononitrotoluol hat Bedeutung als Zwischen- bzw. Vorprodukt zur Trinitrotoluolherstellung. Es gibt drei Isomeren, von denen nur die ortho- und para-Isomeren zum reinen 2,4,6-Trinitrotoluol führen kön-

nen. Bei der „Mononitrierung“ des Toluols fällt vorwiegend die ortho-Verbindung an, daneben ca. 4 % meta- und ca. 33 % para-Derivat.

Zuweilen erscheint es vorteilhaft, die Isomerentrennung (teils durch Destillation, teils durch Ausfrieren) schon in der Monostufe vorzunehmen.

Nitrozucker

nitrosugar; nitrate de sucre; Zuckernitrat

Nitrozucker wird in reiner Form wegen seiner Instabilität nicht verwendet; dagegen wurde, besonders während des Weltkrieges, ein Sprengöl „Nitrohydren“ durch Nitrieren von Lösungen von Rohrzucker in Glycerin hergestellt und zu Spreng- und Schießstoffen verarbeitet. Diese Gemische sind sehr viel schwieriger zu stabilisieren als Nitroglycerin allein und hatten nur in Zeiten der Rohstoffverknappung an Glycerin ein gewisses Interesse.

Nobelit®

Eingetragenes Warenzeichen für die von der Orica hergestellten → Emulsionssprengstoffe.

Nobelit-Emulsionssprengstoffe gibt es sowohl in patronierter als auch in pumpfähiger Ausführung. Die Sprengstoffe der Serie 100 benötigen zur Zündung eine Verstärkerladung.

Sie werden sowohl in Kunststoffpatronen ab 50 mm Durchmesser als auch pumpfähig in Containern geliefert.

Die Sprengstoffe der Serie 200 stehen ab 40 mm Durchmesser zur Verfügung und können mit einem Sprengzünder gezündet werden. Die Serie 300 umfaßt kleinkalibrige Patronen mit sprengzünderempfindlicher Emulsion in Papierhüllen.

NONEL

ist der Handelsname für eine nicht-elektrische („non el“) Vorrichtung zur Leitungsverbindung und Initiierung von Sprengladungen. Es handelt sich also um einen Ersatz von Zündkabeln, Zünd- und Sprengschnüren. Das Übertragungsmittel stellt ein Plastik-Rohr (ca. 3 mm ⌀) dar, dessen Innenwandungen mit einer dünnen Explosivstoffschicht spezieller Art bedeckt ist. Durch ein Spezialgerät initiiert durchläuft eine Stoßwelle mit etwa 2000 m/s das Rohr, welche durch die mitlaufende Reaktion der Wandbelegung aufrechterhalten wird; man kann die Stoßwelle als Leuchterscheinung sehen, ohne daß das Rohr

zerstört wird. Zur detonativen Initiierung einer Sprengladung muß (zumindest) eine Sprengkapsel an das Übertragungsrohr angeschlossen werden. Schaltungsverzweigungen sind mit diesem System möglich.

NONEL wurde entwickelt und wird vertrieben von NITRO NOBEL, Gyttorp, Schweden. Das System kann insbesondere Anwendung in Bereichen finden, in denen mit elektrischen Störungen zu rechnen ist (Gewitter; Hochgebirge; Streustromgefahr).

Normalvolumen

fume volume; volume des produits de détonation; Normalgasvolumen, spezifisches Gasvolumen, Schwadenvolumen

Bezeichnung für das aus der chemischen Zusammensetzung eines Explosivstoffes berechnete Gasvolumen der bei der explosiven Umsetzung entstehenden Gase (Schwaden) in Litern, bezogen auf 1 kg Explosivstoff. Konventionell wird diese Kennzahl bezogen auf 0 °C (nicht: 25 °C) und 1,013 bar (= 1 physikalische Norm-Atmosphäre) angegeben. Die Berechnung der Anzahl der gasförmigen Mole der theoretisch anzunehmenden Zerfallsprodukte berücksichtigt hierbei die Gleichgewichte bei der errechneten Explosionstemperatur, z. B. das Wassergasgleichgewicht und das Boudouard-Gleichgewicht (→ Thermodynamische Berechnung der Umsetzung von Explosivstoffen, und → Schwaden).

Durch Multiplikation dieser Gasmolzahl mit 22,414 l/Mol erhält man das Normalvolumen, wobei Wasser als Gas berücksichtigt wird.

Oberflächenbehandlung

smoothing; lissage

Beim Abbrand eines → Schießpulvers in der Kammer einer Waffe kommt es zur optimalen innenballistischen Ausnutzung der Energie der Pulverladung darauf an, den Gasdruck in dem durch die Geschoßbewegung laufend vergrößerten Gasraum konstant zu halten, bis das Geschoß den Lauf verläßt. Die Pulverladung muß also am Anfang langsamer und gegen Brennschluß schnell Gas liefern („progressiver Abbrand“). Dies geschieht zuerst durch die Form des Pulverkorns (ein Siebenloch-Pulver vergrößert im Abbrand seine Brennflächen und ist daher progressiv); wesentlich unterstützt man das durch die Oberflächenbehandlung, d. h. durch Einsickernlassen von phlegmatisierenden, den Abbrand verlangsamenden Stoffen wie Centralit, Dibutylphthalat, Kampfer, Dinitrotoluol u. a. Eine sorgfältige Oberflächenbehandlung ist hervorragend geeignet, um die Maximaldruckspitze in der Abbrandkurve niedrig zu halten.

Octol

bezeichnet Gemische Oktogen/TNT in den Zusammensetzungen 70/30 und 75/25.

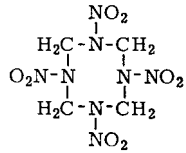
Sprengtechnische Daten:

	70/30	75/25
Detonationsgeschwindigkeit	8377	8643 m/s
bei ϱ =	1,80	1,81 g/cm^3
Normalgasvolumen	847	830 l/kg
Explosionswärme	1074	1131 kcal/kg
=	4497	4735 kJ/kg

Die Gemische werden mit TNT im Schmelzfluß laboriert.

Oktogen

octogen; octogène; cyclotetramethylenetetranitramine; Homocyclonite; Tetramethylentetranitramin; HMX



farblose Kristalle
Bruttoformel: $C_4H_8N_8O_8$
Mol.-Gew.: 296,2
Bildungsenergie: +84,6 kcal/kg = +353,8 kJ/kg
Bildungsenthalpie: +60,4 kcal/kg = +253,5 kJ/kg
Sauerstoffwert: –21,6 %
Stickstoffgehalt: 37,83 %
Normalgasvolumen: 927 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1338 kcal/kg = 5601 kJ/kg
(H_2O gas): 1255 kcal/kg = 5253 kJ/kg
Spezif. Energie: 139,3 mt/kg = 1366 kJ/kg

Dichte:

α-Modifikation: 1,87 g/cm³
β-Modifikation: 1,96 g/cm³
γ-Modifikation: 1,82 g/cm³
δ-Modifikation: 1,78 g/cm³
F.: 282 °C

Übergangstemperaturen der Modifikationen:

$\alpha \rightarrow \delta$: 193 – 201 °C
$\beta \rightarrow \delta$: 167 – 183 °C
$\gamma \rightarrow \delta$: 167 – 182 °C
$\alpha \rightarrow \beta$: 116 °C
$\beta \rightarrow \gamma$: 154 °C

Übergangswärmen:

$\alpha \rightarrow \delta$: 5,98 kcal/kg = 25,0 kJ/kg
$\beta \rightarrow \delta$: 7,90 kcal/kg = 33,1 kJ/kg
$\gamma \rightarrow \delta$: 2,26 kcal/kg = 9,46 kJ/kg
$\beta \rightarrow \gamma$: 5,64 kcal/kg = 23,6 kJ/kg
$\alpha \rightarrow \gamma$: 3,71 kcal/kg = 15,5 kJ/kg
$\alpha \rightarrow \beta$: 1,92 kcal/kg = 8,04 kJ/kg

Bleiblockausbauchung: 480 ml
Detonationsgeschwindigkeit, β-Modifikation:
9100 m/s bei ϱ = 1,89 g/cm^3
Verpuffungspunkt: 287 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,75 kpm = 7,4 Nm
Reibempfindlichkeit: bei 12 kp Stiftbelastung Reaktion
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest: 8 mm

Oktogen tritt in 4 stereo-isomeren Formen auf, von denen nur eine (β-Form) die besonders hohe Dichte und daher die besonders hohe Detonationsgeschwindigkeit aufweist.

Oktogen ist praktisch unlöslich in Wasser. Seine Löslichkeit in anderen Lösungsmitteln entspricht der des Hexogens.

Oktogen entsteht als Nebenprodukt bei der Hexogen-Herstellung nach dem Bachmann-Verfahren (aus Hexamethylentetramin, Ammoniumnitrat, Salpetersäure und Essigsäureanhydrid; → Hexogen). Für sich allein erhält man es durch Behandeln von 1,5-Methylen-3,7-dinitro-1,3,5,7-tetraazacyclooctan mit Essigsäureanhydrid, Ammonsalpeter und Salpetersäure.

Das vorgenannte Ausgangsmaterial entsteht bei der Einwirkung von Essigsäureanhydrid auf Hexamethylentetramindinitrat.

Bei Hochleistungsladungen, besonders Hohlladungen, ist durch den Austausch von Hexogen gegen Oktogen ein Leistungsgewinn erzielbar.

Technische Reinheitsforderungen

Reingehalt an β-Modifikation:	
Grad A, nicht unter	93 %
Grad B, nicht unter	98 %
Schmelzpunkt: nicht unter	270 °C
Aceton-unlösliches: nicht über	0,05 %
Asche: nicht über	0,03 %
Säure, als CH_3COOH: nicht über	0,02 %

PAC-Sprengstoffe

ist die amtliche → Kennzeichnung der → ANC- bzw. → ANFC-Sprengstoffe, die nur aus → Ammonsalpeter und Kohlenstoffträgern, hauptsächlich in Form flüssiger Kohlenwasserstoffe, bestehen.

Paraffin

CH_3-$(CH_2)_x$-CH_3

Paraffin dient zur Imprägnierung von patronierten gewerblichen Sprengstoffen, um sie gegen Feuchtigkeitsbefall zu schützen.

Technische Reinheitsforderungen

Erstarrungspunkt: nicht unter	50 °C
Flammpunkt: nicht unter	200 °C
Flüchtige Bestandteile: nicht über	1 %
Glührückstand:	Null
Toluolunlösliches: nicht über	0,03 %
Lösungen in Ether, CS_2 und Ligroin:	klar, ohne Rückstand
Säure als CH_3COOH: nicht über	0,005 %
Alkali:	Null
Test mit konz. Schwefelsäure:	kein Dunkelwerden der Säure
Verseifungszahl:	Null
Jodzahl:	nur gering bis Null
Adhäsionstest:	negativ

Parallelschaltung

parallel connection; branchement en parallèle

Bei Mehrfach-Sprengungen mit elektrischer Zeitzündung werden die → Brückenzünder im allgemeinen in Serie geschaltet an die Zündleitung angeschlossen. Liegen sehr nasse Bedingungen mit hoher Nebenschlußgefahr vor, wendet man Parallelschaltung an. Da hierbei nur ein sehr geringer Bruchteil der aufgewendeten elektrischen Ener-

gie in den Zünderbrücken wirksam wird – der Hauptteil geht in den Leitungsdrähten verloren – erfordert das Parallelsprengen Spezialzündmaschinen.

Patrone

cartridge; cartouche

bezeichnet jede zum Zweck der Hantierbarkeit, Ladbarkeit und Dosierbarkeit in Umhüllung gebrachte Quantität von Explosivstoffen oder funktionellen Kompositionen derselben; auf dem Munitionsgebiet bezeichnet Patrone insbesondere die waffengerechte Zusammenlaborierung von → Anzündmittel, → Treibladung und Projektil, das seinerseits noch Sprengladung und Zündvorrichtung enthalten kann. Für gewerbliche Sprengstoffe bezeichnet Patrone die meistens zylindrische papier-, pappe- oder kunststoffumhüllte Sprengstoffmenge, die von 50 g bis zu mehreren kg betragen kann.

Patronendichte

(→ Ladedichte)

nennt man bei den gewerblichen Sprengstoffen das Verhältnis des Gewichtes einer Sprengstoffpatrone zu ihrem Volumen.

PBX

„Plastic-bonded explosives“ → kunststoffgebundene Sprengstoffmischungen.

PBXN–1:	Hexogen/Aluminium/Nylon 68/20/12, gepreßt;
PBXN–2:	Oktogen/Nylon 95/5, gepreßt;
PBXN–3:	Oktogen/Nylon 86/14, gepreßt;
PBXN–4:	Diaminotrinitrobenzol/Nylon 94/6, gepreßt;
PBXN–5:	Oktogen/Viton A 95/5, gepreßt (Viton A ist Hexafluorpropylen/Vinylidinfluorid 1 : 2);
PBXN–6:	Hexogen/Viton A 95/5, gepreßt;
PBXN–101:	Hexogen/Laminac 82/18, gegossen;
PBXN–102:	Oktogen/Aluminium/Laminac 59/23/18, gegossen;
PBXN–201:	Hexogen/Viton A/Teflon 83/12/5, extrudiert;
PBXC–303:	Nitropenta/Sylgard 183/80/20,Spritzguß.

P. E.

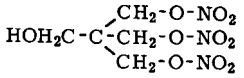
Abkürzung für plastic explosive, je nach Zusatz PE-1, PE-2, PE-3 benannt (→ Plastische Sprengstoffe).

pellet powder

englische Bezeichnung für rundiertes Schwarzpulver für Jagdpatronen.

Pentaerythrittrinitrat

pentaerythritol trinitrate; trinitrate de pentaérythrite; PETRIN



Bruttoformel: $C_5H_9N_3O_{10}$
Mol.-Gew.: 271,1
Bildungsenergie: –470,2 kcal/kg = –1968,6 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –494,2 kcal/kg = –2069,2 kJ/kg
Sauerstoffwert: –26,5 %
Stickstoffgehalt: 15,50 %
Normalgasvolumen: 918 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1249 kcal/kg = 5231 kJ/kg
(H_2O gas): 1142 kcal/kg = 4781 kJ/kg
Spezif. Energie: 125,0 mt/kg = 1226 kJ/kg
Dichte: 1,54 g/cm^3

Die Verbindung wird durch vorsichtige partielle Nitrierung des Pentaerythrits gewonnen.

Die freie Hydroxylgruppe kann zur Bindung mit polymerisierbaren Säuregruppen, z. B. Acrylsäure dienen; polymeres PETRIN-Acrylat dient dann als Sauerstoff-tragender Binder in → Verbundtreibsätzen.

Pentastit

ist mit 7 % Wachs phlegmatisiertes → Nitropenta der schweizerischen Fabrik Dottikon.

Vom BICT (WIWEB) ermittelte Daten:

Verpuffungspunkt: 192–194 °C (Rein-NP: 220 °C)
Schlagempfindlichkeit: 3 kpm = 30 N
Reibempfindlichkeit: bei 24 kp = 235 N Stiftbelastung
Knistern
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest: bei 4 mm beginnend
Explosion (Rein-NP: bei 5 mm beginnend Explosion)
Detonationsgeschwindigkeit: 7720 m/s bei
ϱ = 1,59 g/cm^3

Pentolite

sind gießbare Gemische aus Trinitrotoluol und Nitropenta, insbesondere für Hohlladungen. Die Stabilität solcher Mischungen ist nicht so hervorragend wie die hierfür ebenfalls geeigneten Gemische von Trinitrotoluol mit Hexogen. Für Gemisch (50/50) Dichte 1,65 g/cm^3, Detonationsgeschwindigkeit 7400 m/s.

Perchlorat-Sprengstoffe

perchlorate explosives; explosifs perchloratés

enthalten als wesentlichen Sauerstoffträger Natrium-, Kalium- oder Ammonium-Perchlorat, und als verbrennbare Bestandteile organische Nitroverbindungen, Kohlenwasserstoffe, Wachse und andere Kohlenstoffträger. Sie sind heute unwirtschaftlich und werden nicht mehr hergestellt.

Ein Gemisch von 75 % $KClO_4$ und 25 % Asphaltpech wurde zusammengeschmolzen unter dem Namen „Galcit“ als Raketentreibstoff verwendet und stellte damit einen Vorläufer heutiger → Verbundtreibsätze dar.

Perforation von Bohrlöchern

In der Erdöltechnik werden Hohlladungen, die in speziellen Schießvorrichtungen (jet perforators) in das Bohrloch auf die Teufe der Erdölhorizonte herabgelassen werden, dazu verwendet, die Bohrlochverrohrung und -zementierung zu durchschlagen, so daß das Öl eintreten kann.

Peroxide

Organische Peroxide können explosionsfähige Stoffe sein. Sie werden im allgemeinen nicht zum Zweck des Sprengens hergestellt, sondern als Katalysatoren für Polymerisations-Reaktionen. Sie werden in ungefährlicher (phlegmatisierter) Form eingesetzt. Mit Ausnahme von zwei Peroxiden mit Initialsprengstoff-Charakter (Acetonperoxid und Hexamethylentriperoxiddiamin) werden Peroxide in diesem Buch nicht behandelt.

Petroleum jelly

Vaseline

dient als Stabilisator für Schießpulver. Seine Wirksamkeit wird der Anwesenheit ungesättigter Kohlenwasserstoffe zugeschrieben, die fähig sind, sich etwa bildende Zersetzungsprodukte abzufangen.

Phlegmatisieren

to phlegmatize; flegmatiser

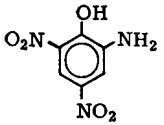
Die Kenndaten von kristallinen Explosivstoffen hoher Empfindlichkeit (→ Beschußempfindlichkeit, → Schlagempfindlichkeit, → Reibempfindlichkeit) werden durch geringprozentige Zusätze zu den Explosivstoffen erheblich beeinflußt. Dies kann ein organisches Polymer oder ein Weichmacher sein, welches/r gleichzeitig als Gleit- und Bindemittel fungiert, wenn aus den kristallinen Stoffen Preßkörper gefertigt werden sollen. → Hexogen, → Nitropenta und → Oktogen müssen phlegmatisierende Zusätze erhalten, wenn sie zu Preßkörpern verarbeitet werden sollen. Auch schmelzbare und gießbare Mischungen können vorteilhaft mit Wachszuschlägen versehen werden, besonders, wenn sie Aluminiumpulver (→ Torpex) enthalten.

Picratol

ist eine im zweiten Weltkrieg zu Bombenfüllungen verwendete Mischung aus Ammoniumpikrat und Trinitrotoluol (52/48). ϱ = 1,62 g/cm^3, Detonationsgeschwindigkeit 6900 m/s.

Pikraminsäure

picramic acid; acide picramique; Dinitroaminophenol



Bruttoformel: $C_6H_5N_3O_5$
Mol.-Gew.: 199,1
Bildungsenergie: –279,0 kcal/kg = –1168,0 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –298,3 kcal/kg = –1249,0 kJ/kg
Sauerstoffwert: –76,3 %
Stickstoffgehalt: 21,11 %
Normalgasvolumen: 961 l/kg

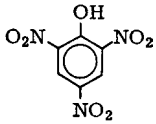
Explosionswärme
(H_2O fl.): 628 kcal/kg = 2630 kJ/kg
(H_2O gas): 599 kcal/kg = 2509 kJ/kg
Spezif. Energie: 68,1 mt/kg = 668 kJ/kg
F.: 168 °C
Bleiblockausbauchung: 166 cm^3
Verpuffungspunkt: 240 °C
Schlagempfindlichkeit: 3,5 kp m = 34 Nm
Reibempfindlichkeit: bis 36 kp = 353 N Stiftbelastung
keine Reaktion
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest: 2,5 mm

Pikraminsäure wird durch die partielle Reduktion von → Pikrinsäure bzw. Natriumpikrat mit Natriumhydrogensulfid in wäßriger Lösung dargestellt.

Aus Pikraminsäure kann durch Diazotieren → Diazodinitrophenol hergestellt werden.

Pikrinsäure

picric acid; acide picrique; trinitro-2,4,6-phénol; 2,4,6-Trinitrophenol; Trinitrooxybenzol



gelbe Blättchen
Bruttoformel: $C_6H_3N_3O_7$
Mol.-Gew.: 229,1
Bildungsenergie: −206,8 kcal/kg = −865,9 kJ/kg
Bildungsenthalpie: −223,6 kcal/kg = −936,2 kJ/kg
Sauerstoffwert: −45,4 %
Stickstoffgehalt: 18,34 %
Normalgasvolumen: 881 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 847 kcal/kg = 3546 kJ/kg
(H_2O gas): 828 kcal/kg = 3465 kJ/kg
Spezif. Energie: 105,3 mt/kg = 1033 kJ/kg
Dichte: 1,77 g/cm^3
F.: 122,5 °C
Schmelzwärme: 18,2 kcal/kg = 76,2 kJ/kg
Spezifische Wärme: 0,254 kcal/kg = 1,065 kJ/kg

Dampfdruck:

Millibar	Temperatur °C
0,01	122
2,7	195
67	255

Bleiblockausbauchung: 315 cm^3
Detonationsgeschwindigkeit: 7350 m/s bei
ϱ = 1,71 g/cm^3
Schlagempfindlichkeit: 0,75 kp m = 7,4 Nm
Reibempfindlichkeit: bis 36 kp = 353 N Stiftbelastung keine Reaktion
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest: 4 mm

Pikrinsäure ist giftig, löslich in heißem Wasser, leicht löslich in Alkohol, Ether, Benzol, Aceton.

An Sprengkraft ist die Pikrinsäure dem → Trinitrotoluol etwas überlegen, sowohl hinsichtlich der Energie als auch der Detonationsgeschwindigkeit.

Pikrinsäure wird durch Lösen von Phenol in Schwefelsäure und Nitrierung der entstandenen Phenoldisulfosäure mit Salpetersäure oder durch Weiternitrieren von Dinitrophenol (aus Dinitrochlorbenzol) hergestellt. Das Rohprodukt wird durch Waschen mit Wasser gereinigt.

Pikrinsäure hat früher als Granat- und Minenfüllung Verwendung gefunden, wobei der unerwünscht hohe Schmelzpunkt durch Zusätze von anderen Nitrokörpern, z. B. Nitronaphthalinen herabgesetzt wurde; in reiner Form diente Pikrinsäure gepreßt für Übertragungsladungen.

Wegen seiner ungünstigen Eigenschaften (Gefahr von Pikratbildung mit Metallen; starke Färbung u. a.) wird Pikrinsäure nicht mehr verwendet.

Plastische Sprengstoffe

Sie bestehen im allgemeinen aus 80–90 % Hochbrisanzsprengstoffen, wie z. B. → Hexogen und Plastifizierungsmitteln wie etwa Vaseline, Spezialwachsen, weichpolymerisierten Kunststoffen u. a. (→ Composition C, → Seismoplast, → Semtex, → Wasaform). Ferner → kunststoffgebundene Sprengstoffe.

Plateau-Abbrand

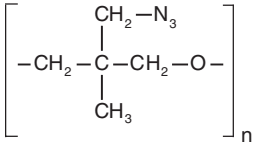
→ Abbrandgeschwindigkeit.

POL-Pulver

Abkürzung für „Pulver ohne Lösungsmittel“, deren Gelatinierung und Ausformung unter Druck und Wärme in Walz- und Strangpreß- (oder Schneckenpreß-)Prozessen erfolgt. Es sind dies stets zwei- oder mehrbasige Pulver, die neben Nitrocellulose ein Sprengöl (Nitroglycerin, Diglykoldinitrat oder andere verwandte Salpetersäureester) als zweiten Energieträger enthalten (→ kalorienarme POL-Pulver enthalten neben dem Sprengöl → Gelatinatoren). POL-Pulver werden für Artillerie, aber auch als Treibmittel für Raketen verwendet. Sie haben besonders bei dickwandigen Pulverelementen oder Treibsatzblöcken den Vorteil, keiner Änderung ihrer ballistischen Kennwerte infolge langsamen Verlierens von Lösemittelresten zu unterliegen. Zum Herstellungsprozeß → Schießpulver, Nitroglycerinpulver.

Poly-3-azidomethyl-3-methyl-oxetan; Poly-AMMO

Poly-3-azidomethyl-3-methyl-oxetane; Poly-AMMO

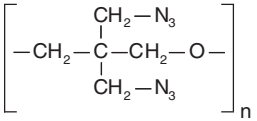


Farbloses Öl bis Wachs
Empirische Bruttoformel pro Struktureinheit: $C_5H_9N_3O$
Mol.-Gew. der Struktureinheit: 127.15
Mittleres Mol.-Gew.:1000–3000
Bildungsenergie:471.88 kJ/kg
Bildungsenthalpie:345.19 kJ/kg
Sauerstoffwert: –169.88 %
Stickstoffgehalt: 33.05 %
Dichte: 1.17 g/cm^3
Spezifische Energie: 568.3 kJ/kg

Poly-AMMO wird mittels kationischer Polymerisation aus dem Monomer 3-Azidomethylmethyloxetan (AMMO) hergestellt. Poly-AMMO ist Gegenstand aktueller Forschung; es wird als zusammen mit energetischen Azidoweichmachern, BuNENA, oder BDNPF/A als energetischer Binder für Rohrwaffentreibmittel propagiert.

Poly-3,3-bisazidomethyloxetan

Poly-3,3-bis-(azidomethyl)-oxetane; Poly-BAMO

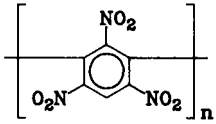


Farbloser Feststoff
Empirische Bruttoformel pro Struktureinheit: $C_5H_8N_6O$
Mol.-Gew. der Struktureinheit: 168.16
Mittleres Mol.-Gew.: 1000–10 000
Bildungsenergie: 2517.7 kJ/kg
Bildungsenthalpie: 2460.8 kJ/kg
Sauerstoffwert: –123.69 %
Stickstoffgehalt: 49.98 %
Dichte: 1.25 g/cm^3
Schlagempfindlichkeit: 5.0 Nm
Reibempfindlichkeit 288 N

Poly-BAMO wird mittels kationischer Polymerisation aus dem Monomer 3,3-Bisazidomethyloxetane (BAMO) hergestellt. Poly-BAMO wird ebenso wie PolyAMMO als energetischer Binder für Rohrwaffentreibmittel und als Copolymeres mit GAP oder PolyNIMMO als Binder für Compositreibstoffe propagiert. Es hat einen höheren Azidgehalt und damit eine höhere Bildungsenthalpie wie GAP und PolyAMMO und ist daher ebenso wie PolyAMMO Gegenstand aktueller Forschung.

Polynitropolyphenylen

polynitropolyphenylene; polynitropolyphenylène; PNP



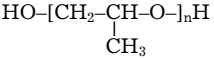
grünlich-gelbbraunes amorphes Pulver
Bruttoformel der Struktureinheit: $C_6HN_3O_6$
Mol.-Gew. der Struktureinheit: 211,1
mittleres Molekulargewicht: 2350
Sauerstoffwert: –49,3 %
Stickstoffgehalt: 19,91 %
Explosionswärme (H_2O fl.): 3200 kJ/kg = 764 kcal/kg
Dichte: 1,8–2,2 g/cm^3

Schüttdichte: 520 g/l
Verpuffungstemperatur: 280 °C–304 °C
Schlagempfindlichkeit: 3–5 Nm = 0,3–0,5 kpm
Reibempfindlichkeit: bei 360 N = 37 kp
Stiftbelastung Reaktion
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest: 6 mm

Polynitropolyphenylen wird durch die Umsetzung einer Lösung von 1,3-Dichlor-2,4,6-trinitrobenzol in Nitrobenzol bei 150–180 °C mit Kupferpulver („Ullmann-Reaktion“) hergestellt. Man trennt das erhaltene Rohrprodukt zuerst vom anfallenden Kupferchlorid ab und reinigt es dann in mehreren Stufen von Lösungsmittelresten und niedermolekularen Anteilen. Die Verbindung ist ein thermisch sehr beständiger, nichtkristalliner Explosivstoff. Sie wird im Bereich der → LOVA-Technologie als ein → energetisches Bindemittel in hochtemperatur-belasteten Treibmitteln eingesetzt.

Polypropylenglykol

polyprophylene glycol; polypropylène glycol; PPG

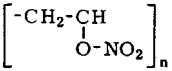


viskose Flüssigkeit
Bruttoformel: $C_{102}H_{206}O_{35}$
Molekulargewicht: 1990
Bildungsenergie: –852,3 kcal/kg = –3568 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –888,1 kcal/kg = –3718,3 kJ/kg
Sauerstoffwert: –218,4 %
Dichte: 1,003 g/cm^3

PPG bildet zusammen mit Diisocyanaten Polyurethane als Binder in → Verbundtreibsätzen („composite propellants“).

Polyvinylnitrat

polyvinyl nitrate; nitrate de polyvinyle
PVN



gelblich-weißes Pulver
Bruttoformel der Struktureinheit: $C_2H_3NO_3$
Mol.-Gew. der Struktureinheit: 89,05
Bildungsenergie: –275,7 kcal/kg = –1154,5 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –298,8 kcal/kg = –1251,2 kJ/kg

Mittleres Molekulargewicht: 200 000
Sauerstoffwert: – 44,9 %
Normalgasvolumen: 1009 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1095 kcal/kg = 4583 kJ/kg
(H_2O gas): 1026 kcal/kg = 4295 kJ/kg
Spezif. Energie: 125,0 mt/kg = 1227 kJ/kg
Dichte: 1,6 cm^3
Erweichungspunkt: 30 – 40 °C
Detonationsgeschwindigkeit: ca. 7000 m/s bei
ϱ = 1,5 g/cm^3
Verpuffungspunkt: 175 °C
Schlagempfindlichkeit: 1,0 kp m = 10 NM
Reibempfindlichkeit: bei 20 kp = 196 N Stiftbelastung
Reaktion
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest: 8 mm

Polyvinylnitrat wird durch Veresterung von Polyvinylalkohol (PVA) mit Salpetersäure oder Mischsäure hergestellt. Je nach Verseifungsgrad des Polyvinylalkohols, welcher aus Polyvinylacetat gewonnen wird, erhält man in Abhängigkeit von den Herstellungsbedingungen und dem Polymerisationsgrad Produkte mit unterschiedlichem Stickstoffgehalt und unterschiedlichen rheologischen Daten. PVN ist ein thermoplastischer, makromolekularer Stoff mit einem Erweichungsbereich zwischen 30 und 45 °C, je nach Molekulargewicht des eingesetzten Polyvinylalkohols.

Poröse Pulver

sind Schießpulver speziell für Handfeuerwaffen, die eine große innere Oberfläche aufweisen und daher hohe Abbrandgeschwindigkeiten zeigen. Man erreicht die Porosität, indem man dem Pulver bei der Herstellung ein lösliches Salz zufügt, das dann später wieder ausgelaugt wird.

Poudre B

französisches Pulver, reines Nitrocellulose-Pulver mit 1,5 – 2 % Diphenylamin-Zusatz.

Pressen von Sprengstoffen

press-molding of explosives; moulage d'explosifs par pression

Das Pressen mit Hilfe hydraulischer Pressen und von Preßmatrizen dient ebenso wie das Gießen zur Erzielung hoher Ladedichten (→ Brisanz) bei gleichzeitiger Formgebung.

Manche Sprengstoffe (z. B. TNT, Tetryl) lassen sich ohne weitere Zusätze durch Pressen verdichten, manche, insbesondere empfindlichere Typen, wie Nitropenta, Hexogen, Oktogen muß man → „phlegmatisieren", d. h. mit einem Wachszuschlag versehen; das Wachs setzt die Schlagempfindlichkeit herab (z. B. → Pentastit), wirkt aber gleichzeitig als Bindemittel.

Pressen von Treibsätzen

Raketen-Treibsätze, sowohl zweibasige Pulver (→ POL-Pulver) als auch „composite propellants" werden auf Strang- und Schneckenpressen zu den gewünschten Formen, z. B. Innenbrenner, Stern, Rad usw. unter Anwendung von Druck durch eine Matrize verformt.

Progressiv-Pulver

progressiv burning powder; poudre progressive

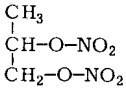
ist die Bezeichnung für ein Schießpulver, bei dem durch Wahl der günstigsten geometrischen Form des Pulverkorns und ggf. durch eine spezielle Oberflächenbehandlung der Abbrand mit steigender Geschwindigkeit verläuft. Beispiele für diesen Typ sind die Mehrlochröhrenpulver (z. B. 7-Loch-Pulver, 19-Loch-Pulver usw.).

Propergole

Sammelbegriff aus der Raketentechnik zur Bezeichnung aller chemischen Treibstoffe.

Propylenglykoldinitrat*)

propylenglycol dinitrate; dinitrate de propylèneglycol; Methylnitroglykol



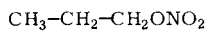
farblose Flüssigkeit
Bruttoformel: $C_3H_6N_2O_6$
Mol.-Gew.: 166,1
Bildungsenergie: –399,5 kcal/kg = –1672 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –424,5 kcal/kg = –1776 kJ/kg
Sauerstoffwert: –28,9 %
Stickstoffgehalt: 16,87 %
Normalgasvolumen: 953 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1288 kcal/kg = 5393 kJ/kg
(H_2O gas): 1177 kcal/kg = 4928 kJ/kg
Spezif. Energie: 130,6 mt/kg = 1281 kJ/kg
Dichte: 1,368 g/cm^3 (20/4)
Kp. (10 mm): 92 °C
Bleiblockausbauchung: 540 cm^3/10 g

Propylenglykoldinitrat ist gut löslich in organischen Lösungsmitteln, fast unlöslich in Wasser.

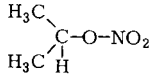
Man erhält Propylenglykoldinitrat durch Nitrierung des Propylenglykols mit Salpetersäure/Schwefelsäure.

PropyInitrat

propyle nitrate; nitrate de propyle



und



n-Propylnitrat **(NPN)** Isopropylnitrat **(IPN)**

farblose Flüssigkeit
Bruttoformel: $C_3H_7NO_3$
Mol.-Gew.: 105,1
Bildungsenergie

*) Dr. *Ph. Naoúm*: Nitroglycerinsprengstoffe, Verlag Julius Springer, Berlin 1924.

n: –456,9 kcal/kg = –1912,8 kJ/kg
iso: –491,6 kcal/kg = –2058,2 kJ/kg
Bildungsenthalpie
n: –487,9 kcal/kg = –2042,5 kJ/kg
iso: –522,6 kcal/kg = –2187,9 kJ/kg
Sauerstoffwert: –99,0 %
Stickstoffgehalt: 13,33 %
Explosionswärme (H_2O fl.)
n: 600 kcal/kg = 2512 kJ/kg
iso: 565 kcal/kg = 2364 kJ/kg
Kp.: 102 °C
Dichte
n: 1,058 g/cm^3 (20/4)
iso: 1,036 g/cm^3 (20/4)
Schlagempfindlichkeit: bis 5 kp m = 50 Nm
keine Reaktion
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest: bei 1 mm
keine Explosion

n-Propylnitrat findet Verwendung als → Monergol in → Flüssigtreibstoff-Raketen. Isopropylnitrat wird in → Thermobarischen Explosivstoffen zusammen mit Magnesium eingesetzt.

Pulverförmige Sprengstoffe

powder explosives; explosifs pulvérulents

Gewerbliche Sprengmittel müssen bildsam, d. h. entweder gelatinös oder pulverförmig sein, um die Einführung des Zündmittels, wie z. B. der Sprengkapsel, zu gestatten. Die pulverförmigen Sprengstoffe basieren, abgesehen von Wetterspengstoffen (s. letzten Absatz), auf Ammonsalpeter mit und ohne Zusatz von Sprengölen. Sie empfehlen sich insbesondere dort, wo es nicht auf größtmögliche Ladedichte ankommt und trockene Bedingungen vorliegen; allerdings werden manche Typen, wie z. B. → Ammonit W4 und W5 mit feuchtigkeitsschützenden Zusätzen versehen, welche den Einsatz im Nassen, allerdings ohne erhebliche hydrostatische Drucke, gestatten. Die in patronierter Form gelieferten pulverförmigen Sprengstoffe sind durchweg mit der Sprengkapsel zündbar, wenn nicht vom Hersteller ausdrücklich anders angegeben, z. B. bei Ammonex. Nicht patronierte pulverförmige Sprengstoffe müssen schüttfähig („free flowing“) sein (→ PAC-Sprengstoffe).

Die Wettersprengstoffe der höchsten Sicherheitsklasse sind auf sog. Salzpaaren, wie Natronsalpeter-Ammonchlorid oder Kalisalpeter-Ammonchlorid, basiert und daher ebenfalls pulverförmig.

Pulverrohmasse

primitive mass; galette; dough

Als Pulverrohmasse bezeichnet man ein etwa 35 % Wasserfeuchtigkeit enthaltenes Gemisch aus Nitrocellulose und Salpetersäureestern, z. B. Nitroglycerin, Diglykoldinitrat u. a. Äußerlich sieht es in diesem Stadium ähnlich feuchter Nitrocellulose aus.

Aus der Rohmasse wird nach Zufügen sonstiger Stoffe, wie Stabilisatoren, Graphit, Gelatinatoren usw. durch Walzen und Pressen Schießpulver „ohne Lösungsmittel“ hergestellt (→ „Schießpulver“, Nitroglycerinpulver).

Querschnittsverhältnis

cross section ratio; rapport d’expansion

bezeichnet beim Raketenabbrand das Verhältnis des freien Durchgangsquerschnitts zum engsten Querschnitt („Düsenhals“). Bei der Feststoffrakete wird dieses Verhältnis durch die räumliche Anordnung des Treibsatzes beeinflußt und ändert sich mit dem Abbrandfortschritt.

Rakete

missile, rocket; roquette

bezeichnet die gesamte, aus Anzünd- und Zünd-Vorrichtungen, Raketenmotor, Steuerungsvorrichtungen und der Nutzlast bestehende Funktionseinheit.

Raketenmotor

rocket motor; moteur fusée, propulseur

bezeichnet das Antriebsaggregat einer Rakete. Der Antrieb kann durch Abbrand von flüssigen → Brennstoffen mittels flüssiger → Sauerstoffträger (flüssiger Sauerstoff, Salpetersäure bzw. anderer Oxydantien, wie flüssigem Fluor), durch Abbrand von Feststoffen (→ Feststoffrakete), durch Abbrand fester Brennstoffe mit flüssigen Oxidantien (→ Hybrids) oder durch katalytische Zersetzung endothermer, im Zerfall Gas entwickelnder Verbindungen (→ Hydrazin, → Aerozin, → Aurol) erzeugt werden.

Raketen-Prüfstand

rocket test stand; banc d'essai

Der Prüfstand dient zur Messung der Schübe und Drücke, die während des Brennvorganges entstehen (→ Schubmessung). Da das Abbrandverhalten bei verschiedenen Temperaturen interessiert, sind die Prüfstände meistens mit Wärme- und Kältekammern zum Vortemperieren ausgestattet.

In besonderen Ausführungsformen können auch andere Schubkomponenten (z. B. seitliche Komponente bei geneigten Düsen) und Drehmomente gemessen werden.

Die Prüfstände können für horizontale und für vertikale Anordnung des zu prüfenden Triebwerkes konstruiert werden.

Zur Ausstattung moderner Prüfstandanlagen gehören auch Einrichtungen für Umwelttests (environmental testing), wie z. B. für Temperaturwechsel, Vibration, Stoß- und Fallteste.

Reibempfindlichkeit

friction sensibility; sensibilité au frottement

Eine Methode zur Bestimmung der Reibeempfindlichkeit explosionsfähiger Stoffe stellt der Reibapparat der BAM dar. Diese Methode gestattet die Ermittlung reproduzierbarer Zahlenangaben.

Eine weitergehende Untersuchung stellt die von der BAM entwickelte Methode*) dar, welche die Ermittlung reproduzierbarer Zahlenangaben gestattet.

Prüfverfahren

Die Probe wird auf ein ebenes, durch „Schwammstrich" aufgerauhtes Porzellanplättchen 25×25×5 mm gegeben, das auf dem Schlitten des Reibapparates fest eingespannt wird. Auf die Probe wird ein zylindrischer Porzellanstift 10 ⌀×15 mm mit kugeliger rauher Endfläche (Krümmungsradius 10 mm) gesetzt, der in einer Spannvorrichtung fest eingespannt ist und mittels eines Belastungsarmes durch verschiedene Gewichte belastet werden kann. Beim kleinen Reibapparat kann die Stiftbelastung von 0,01–1 kp, beim großen Reibapparat von 0,5–36 kp variiert werden. Das Porzellanplättchen führt unter dem Porzellanstift eine Hin- und Rückbewegung von je 10 mm Länge aus.

*) *Koenen* und *Ide*: Explosivstoffe *9* (1961), S. 4 u. 30.

Angewandte Menge: 10 mm^3

Stoff	Belastung des Porzellanstiftes kp	N
A. Einheitliche Sprengstoffe		
Initialsprengstoffe u. a.		
Silberacetylid	0,01	0,1
Hexamethylentriperoxiddiamin	0,01	0,1
Bleiazid	0,01	0,1
Cyanurtriazid	0,01	0,1
Quecksilberacetylid	0,01	0,1
Kupferacetylid	0,01	0,1
Tricycloacetonperoxid	0,01	0,1
Blei(II)-trinitroresorcinat	0,15	1,5
Quecksilber(II)-fulminat (grau)	0,3	3
Quecksilber(II)-fulminat (weiß)	0,5	5
Tetrazen	0,8	8
Erythrittetranitrat	3	30
Nitropenta	6	60
Silberoxalat	8	80
Hexogen	12	120
Strontiumazid	12	120
Bariumazid	24	240
Hexanitrodiphenylaminkalium	24	240
Tetryl	36	359
(Ammoniumnitrat, Dinitrobenzol, Nitroglykol, Nitroglycerin, Nitrocellulose 13,4 % N, Pikrinsäure und Trinitrotoluol kommen im Reibapparat bis zu einer Stiftbelastung von 36 kp = 353 N nicht zum Entflammen, Knistern oder Explodieren.)		
B. Sprengstoffmischungen		
Sprenggelatine	8	80
Dynamit I	12	120
Ammon-Gelit I	24	240
(Alle sonstige zugelassene gewerbliche Sprengstoffe, z. B. Ammon-Gelit 3, Ammonit 1 und 3 Ammonex 1, Andex 1, Donarit 1, Geosit, Seismogelit und alle Wettersprengstoffe kommen im Reibapparat bis zu einer Stiftbelastung von 36 kp = 353 N nicht zum Entflammen, Knistern oder Explodieren.)		

Reibempfindlichkeit explosionsfähiger Stoffe

ermittelt zwischen rauhen Porzellanflächen im großen und kleinen Reibapparat der BAM*)
Angegeben ist die niedrigste Stiftbelastung in N, bei der unter sechs Versuchen mindestens einmal Entflammung, Knistern oder Explosion eintritt.

Resonanz

→ Erosiver Abbrand.

RID

ist die Kurzbezeichnung des *Règlement International concernant le transport des Marchandises Dangereuses par Chemin de Fer.* Es enthält die Transport-, Zulassungs- und Verpackungsvorschriften für den grenzüberschreitenden Eisenbahnverkehr. Parallel dazu sind die entsprechenden Vorschriften für den Straßenverkehr im → „ADR“ zusammengestellt → Gefahrgutverordnung Straße und Eisenbahn (GGVSE). In der GGVSE ist für die dort geregelten Beförderungen die Gültigkeit des RID ausdrücklich genannt.

RS-

Der Namenszusatz leitet sich von *Reduced Sensitivity* ab und bezeichnet Explosivstoffkomponenten mit reduzierter Empfindlichkeit. Die Bezeichnung geht auf Untersuchungen in den 90ern zurück bei denen festgestellt wurde, dass durch verfeinerte Kristallisationsverfahren unempfindliche → Hexogen-Varianten hergestellt werden können. Heute wird neben unempfindlichem Hexogen (RS-RDX oder I-RDX) auch unempfindliches → Oktogen (RS-HMX) angeboten.

Round-Robin-Test

Ringversuch

Round-Robin-Teste bezeichnen Prüfverfahren, an deren Ausarbeitung sich verschiedene Institute in verschiedenen Ländern zum Zweck der

*) Prüfung 3 (b) (i) der Empfehlungen für die Beförderung gefährlicher Güter; Handbuch über Prüfungen und Kriterien; Vereinte Nationen.
DIN EN 13631-3, Explosivstoffe für zivile Zwecke – Sprengstoffe – Bestimmung der Reibempfindlichkeit von Explosivstoffen, Beuth-Verlag.

Erzielung vergleichbarer Ergebnisse beteiligen. Von Bedeutung sind solche gemeinsam erarbeitete Teste besonders dann, wenn sie beim Verkauf von Munition von einem Land in ein anderes als verbindliche Prüfmethode anerkannt werden sollen.

Salpeter

saltpeter; salpêtre, nitre

→ Kaliumnitrat

Sandtest

ist eine in den USA gebräuchliche Ermittlung des Arbeitsvermögens eines Sprengstoffes. Es wird eine gewisse Menge Sprengstoff in Sand von bestimmter Siebfraktion zur Explosion gebracht und diejenige Menge Sand bestimmt, die nunmehr nach der Zertrümmerung das feinere Klassiersieb passiert.

Sauerstoffträger

oxidizer; comburant

Alle Explosivstoffe enthalten den zur explosiven Umsetzung notwendigen Sauerstoff eingebaut. Das kann durch chemische Reaktionen (Nitrieren) oder auch durch mechanisches Einmischen von Substanzen geschehen, welche Sauerstoff in gebundener Form enthalten. Die wichtigsten Feststoff-Sauerstoffträger sind Nitrate (für Sprengstoffe besonders wichtig → Ammonsalpeter und → Natriumnitrat, für Schwarzpulver, aber auch für Wettersprengstoffe das → Kaliumnitrat); Chlorate (→ Kaliumchlorat, → Chloratsprengstoffe, → Feuerwerkssätze) und Perchlorate (besonders das → Ammoniumperchlorat für → Verbundtreibsätze). Wichtige flüssige Oxidationsmittel für Flüssig-Raketenantriebe sind flüssiger Sauerstoff („LOX“), hochprozentige Salpetersäure, flüssiges N_2O_4, flüssiges Fluor und Halogenfluoride.

Sauerstoffwert

oxygen balance; bilan d'oxigène; Sauerstoffbilanz

Die Sauerstoffbilanz ist diejenige Sauerstoffmenge in Gewichtsprozenten, die bei vollständiger Umsetzung des Explosivstoffes zu CO_2, H_2O, SO_2, Al_2O_3 usw. frei wird („positive“ Sauerstoffbilanz). Reicht der

im Explosivstoff gebundene Sauerstoff hierzu nicht aus („negative“ Sauerstoffbilanz), so wird die zu vollständigem Umsatz notwendige Fehlmenge an Sauerstoff ebenso, jedoch mit negativem Vorzeichen angegeben. Auch für → Brennstoffe ohne Explosivstoffcharakter kann die zum Umsatz notwendige Sauerstoffmenge als negative Bilanz genau so berechnet werden.

Beispiele: Trinitrotoluol ($C_7H_5N_3O_6$) = –74 %
Nitroglycerin ($C_3H_5N_3O_9$) = + 3,5 %
Ammoniumnitrat (NH_4NO_3) = +20 %

Tabelle der Sauerstoffwerte von Sprengstoffen und Sprengstoffkomponenten

Substanz	Verfügbarer Sauerstoff %
Aluminium	– 89,0
Ammoniumchlorid	– 44,9
Ammoniumnitrat	+ 20,0
Ammoniumperchlorat	+ 34,0
Ammoniumpikrat	– 52,0
Bariumnitrat	+ 30,6
Dinitrobenzol	– 95,3
Dinitrotoluol	– 114,4
Holzmehl, gereinigt	– 137,0
Kaliumchlorat	+ 39,2
Kaliumnitrat	+ 39,6
Kohle	– 266,7
Natriumchlorat	+ 45,0
Natriumnitrat	+ 47,0
Nitroglycerin	+ 3,5
Nitroguanidin	– 30,8
Nitrocellulose (Schießwolle)	– 28,6
Nitrocellulose (Collodiumwolle)	– 38,7
Pikrinsäure	– 45,4
Schwefel	– 100,0
Tetryl	– 47,4
Trinitroresorcin	– 35,9
Trinitrotoluol	– 74,0

Weitere Werte bei allen hier im Buch beschriebenen Verbindungen.

Aus den Sauerstoffwerten der Komponenten eines Sprengstoffes läßt sich leicht dessen günstigste Zusammensetzung errechnen. Gewerbliche Sprengstoffe müssen eine nicht zu weit von Null entfernte Sauerstoffbilanz aufweisen, damit in den Schwaden möglichst wenige giftige Gase, insbesondere Kohlenmonoxid und nitrose Gase vorkommen.

Schießbaumwolle

→ Nitrocellulose.

Schießpulver

powder; gun propellant; poudre; TLP

Als Treibmittel für konventionelle militärische Waffen wird seit langem ausschließlich rauchloses, richtiger rauchschwaches Pulver verwendet. Nach der Zusammensetzung unterscheidet man einbasige Pulver wie Nitrocellulosepulver, zweibasige Pulver wie Nitroglycerinpulver, dreibasige Pulver wie Nitrocellulose- + Nitroglycerin (oder Nitrocellulose + Diglykoldinitrat) + Nitroguanidinpulver.

Grundbestandteil der *Nitrocellulosepulver* ist Nitrocellulose, ein Gemisch aus Schießbaumwolle (Stickstoffgehalt von 13,26 bis 13,35 %) und Collodiumwolle (Stickstoffgehalt von 11–13 %). Zur Pulverherstellung wird das Nitrocellulosegemisch mit Hilfe von Lösungsmitteln – meist Alkohol und Ether – gelatiniert. Hierbei können noch weitere Zusätze – insbesondere Stabilisatoren – zugegeben werden. Die so erhaltene plastische lösemittelfeuchte Masse wird durch hydraulische Strangpressen in Streifen-, Nudel- oder Röhrenform gepreßt und durch Schneidemaschinen auf die gewünschte Länge geschnitten. Die im Pulver noch vorhandenen Lösemittel werden durch Wässern und Trocknen des Pulvers entfernt. Nach dem Trocknen wird das Pulver in Trommeln poliert und graphitiert. Dabei wird gleichzeitig eine Oberflächenbehandlung mit alkoholischen Lösungen von Centralit, Dibutylphthalat, Campher, Dinitrotoluol oder anderen phlegmatisierend wirkenden Stoffen durchgeführt.

Zur Herstellung von *Nitroglycerinpulver* wird Nitrocellulose in Wasser aufgeschwemmt, das Nitroglycerin der intensiv gerührten Suspension langsam zugegeben, wobei das Nitroglycerin von der Nitrocellulose praktisch völlig gebunden wird. Darauf wird der größte Teil des Wassers (bis auf 25–35 %) abzentrifugiert oder abgepreßt und die Pulverrohmasse zerkleinert. Anschließend wird sie – falls erforderlich – zusammen mit den Zusätzen, die nicht in Nitroglycerin löslich sind, in Mischwerken vermengt und dann auf geheizten Walzwerken gelatiniert, wobei das Wasser bis auf ca. 1 % verdampft.

Diesem in der Wärme plastischen Produkt wird dann, je nach Pulvertyp, auf Kalanderwalzen, Schneidmaschinen, Stanzen oder auch durch hydraulische Stangpressen die endgültige geometrische Form gegeben.

Dieses ohne Lösungsmittel hergestellte Pulver, das sogenannte „POL-Pulver“, hat gegenüber Nitrocellulosepulver den Vorteil größerer Gleichmäßigkeit, da Schwankungen in der Zusammensetzung – be-

dingt durch zurückgehaltene Lösemittelreste – vermieden werden. Ein weiterer Vorteil ist seine kürzere Fertigungszeit infolge Fortfalls der Trockenzeiten. Nitroglycerinpulver werden, je nach Verwendungszweck, mit einem Nitroglyceringehalt von 25–50 % gefertigt.

In USA und England werden heute noch viele Nitroglycerinpulver und Nitroguanidinpulver mit Hilfe von Lösungsmitteln hergestellt. Zur Erleichterung des Knet- und Preßvorganges wird dem Nitroglycerin vorher Aceton zugefügt, das später durch Trocknen wieder entfernt werden muß.

In neuerer Zeit hat man anstelle des Nitroglycerins eine Reihe anderer flüssiger Salpetersäureester eingeführt (Diglykoldinitrat, Triglykoldinitrat, Metrioltrinitrat, Butantrioltrinitrat), von denen besonders das Diglykoldinitrat größere Verwendung gefunden hat. Man erhält mit seiner Hilfe oder mit Triglykoldinitrat kalorienärmere Pulver. Dies ist für die Rohrlebensdauer der Geschütze, für die diese Pulver Verwendung finden, von Wichtigkeit. Man hat diese Pulver → „kalte“ Pulver genannt.

Die weitere Entwicklung auf dem Wege zur Fertigung von rohrschonenden Pulvern mit noch günstigeren Eigenschaften führte zum „kalten Nitroguanidinpulver“, bei dem als Energieträger zu Diglykoldinitrat (oder Triglykoldinitrat) und Nitrocellulose als dritte Komponente Nitroguanidin hinzukommt (triple base powder). Nitroguanidingehalt 25–40 %. Fertigung dieser Pulver analog der POL-Fertigung, also ohne Lösungsmittel. (Pulver mit einem Anteil von über 40 % Nitroguanidin können nur mit Hilfe von Lösemitteln hergestellt werden.) Zur Zeit stellen die Nitroguanidinpulver bei konventionellen Waffen wohl die günstigste Lösung zur Schonung der Rohre dar.

Seit etwa 1970 arbeitet man auch an der Entwicklung nitratesterfreier → LOVA-Treibladungspulver. Diese neue Art von Treibmitteln besitzt eine wesentlich höhere Unempfindlichkeit gegenüber thermischen und mechanischen Einwirkungen, als dies bei den Nitrocellulosepulvern der Fall ist.

Die im Weltkrieg I gemachten Erfahrungen mit → „Ammonpulver“ führten später dazu, die Verwendung von Ammonnitrat als Bestandteil der üblichen POL-, Nitroglycerin- bzw. Diglykolpulver (bis zu 55 % Ammonnitrat) zu überprüfen. Die Erfahrungen waren aber schlecht, da wegen der Hygroskopizität Schwierigkeiten bei der Verarbeitung auftraten, so daß bisher derartige Pulvertypen noch keine nennenswerte Verwertung bei den konventionellen Feuerwaffen gefunden haben.

Die ballistischen Eigenschaften des Pulvers können, außer durch die chemische Zusammensetzung, auch durch die Formgebung beeinflußt werden. So wird bei konventionellen Waffen ein progressiver Abbrand angestrebt, zumindest ein Pulverkorn mit konstanter Oberfläche während des Abbrandes.

Man unterscheidet je nach der geometrischen Form folgende Pulvertypen:

Röhrenpulver (lange Röhren)
Röhrenpulver (kurz geschnittene Röhren)
Mehrlochpulver (kurz geschnittene Röhren, mehrfach perforiert)
Blättchenpulver
Streifenpulver
Kugelpulver
Würfelpulver
Nudelpulver (kurz geschnittene Stäbchen)
Ringpulver.

Für Handfeuerwaffen werden die mehr feinkörnigen Pulver verwendet, für Kanonen in erster Linie Röhrenpulver, für Steilfeuergeschütze (Haubitzen, Mörser) Blättchen- und Röhrchenpulver.

Schießschalter

→ Zündschalter

Schießwolle 18

ist eine gießbare Mischung aus 60 % Trinitrotoluol, 24 % Hexanitrodiphenylamin und 16 % Aluminiumpulver, die für Unterwassersprengmittel der Marine eingesetzt wurde. Die Mischung löste die vorher verwendete gepreßte feuchte Schießbaumwolle ab.

Die Mischung aus 67 % Trinitrotoluol, 8 % Hexanitrodiphenylamin und 25 % Aluminium wurde als Schießwolle 36 und die aus 45 % Trinitrotoluol, 5 % Hexanitrodiphenylamin, 30 % Ammonsalpeter und 25 % Aluminium als Schießwolle 39 bezeichnet.

„Schießwollen neuer Art“: → Hexanite.

Schlagempfindlichkeit

impact sensitivity; sensibilité à l’impact

Die Schlagempfindlichkeit fester, flüssiger oder gelatinöser Sprengstoffe wird mittels der Fallhammermethode geprüft. Genaue Prüfvorschriften sind in der Eisenbahnverkehrsordnung mit dem Kastschen Stempelapparat festgelegt. Diese Methode wurde von der → BAM verbessert*), so daß reproduzierbare Zahlen erhalten werden können.

*) *Koenen* und *Ide*, Explosivstoffe 9, S. 4 u. 30 (1961).

Bei diesen Prüfungen werden die abgemessenen Sprengstoffproben der Einwirkung verschiedener Fallgewichte ausgesetzt. Es werden die Fallhöhen bestimmt, bei denen die Probe durch die übertragene Schlagenergie zur Zersetzung oder Explosion kommt.

Prüfverfahren nach BAM:

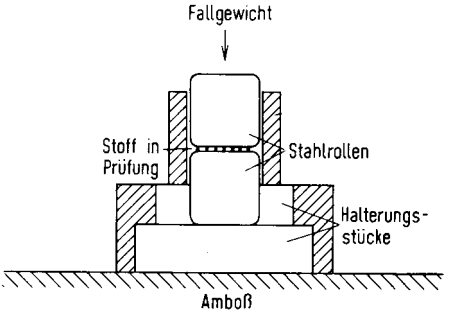


Abb. 15. Fallhammerprüfung nach der Stahlrollenmethode: Stempelapparat

Die Probe wird in eine Stempelvorrichtung eingeschlossen, die aus zwei koaxial übereinanderstehenden Stahlzylindern bzw. -stempeln und einem Hohlzylinder aus Stahl als Führungsring besteht. Die Stahlstempel haben einen ⌀ von $10\,^{+0,003}_{-0,005}$ mm und eine Höhe von 10 mm, während die Hohlzylinder einen äußeren ⌀ von 16 mm, eine Bohrung von $10\,^{+0,005}_{-0,010}$ mm und eine Höhe von 13 mm haben; Stempel und Hohlzylinder haben definierte Härte. Bei pulverförmigen und pastenförmigen Stoffen wird der obere Stempel bis zum Anschlag leicht in die offene Stempelvorrichtung (unterer Stempel mit Hohlzylinder) hineingedrückt, ohne die Probe dadurch flachzudrücken. Flüssigkeiten werden mit einem Stempelabstand von 1 mm geprüft. – Beim kleinen Fallhammer werden Fallgewichte bis 1 kp verwendet. Für den großen Fallhammer werden Fallgewichte von 1, von 5 und von 10 kp benutzt. Die Fallhöhen betragen für das 1-kp-Gewicht 10–50 cm, für das 5-kp-Gewicht 15–50 cm und für das 10-kp-Gewicht 35–50 cm.

Initialsprengstoffe und andere sehr reibempfindliche Stoffe werden unter dem Fallhammer auf Feilenplättchen geprüft, indem 5 mm^3 des Stoffes auf das Plättchen gegeben und gleichmäßig auf einer Fläche von ca. 9 mm ⌀ verteilt werden; mit dem aufgesetzten Stahlstempel 10 ⌀ · 10 mm wird die Probe schwach angedrückt (vgl. *Koenen und Ide*, Explosivstoffe *6*, 227 [1958]).

Schlagemfindlichkeit explosionsfähiger Stoffe, ermittelt nach der Fallhammermethode der BAM) mit Stempelvorrichtungen*

Angegeben ist die niedrigste Schlagenergie in kp m, bei der unter sechs Versuchen mindestens einmal Explosion auftritt.

Angewandte Menge: 40 mm^3

Stoff	Fallgewicht × Fallhöhe (Schlagenergie)	Für das Fallgewicht 0,1 kp, 1 kp, 5 kp, 10 kp beträgt die niedrigste Schlagenergie in kp m
A. Einheitliche Sprengstoffe und Initialsprengstoffe		
Nitroglykol	0,1 kp × 20 cm (0,02 kp m)	0,02
Nitroglycerin	0,1 kp × 20 cm (0,02 kp m)	0,02
Tetrazen	1 kp × 20 cm (0,2 kp m)	0,2
Quecksilber(II)-fulminat (grau)	1 kp × 20 cm (0,2 kp m)	0,2
Quecksilber(II)-fulminat (weiß)	1 kp × 30 cm (0,3 kp m)	0,3
Nitropenta	1 kp × 30 cm (0,3 kp m)	0,3
Tetryl	1 kp × 30 cm (0,3 kp m)	0,3
Nitrocellulose 13,4 % N	1 kp × 30 cm (0,3 kp m)	0,3
Nitrocellulose 12,2 % N	1 kp × 40 cm (0,4 kp m)	0,4
Bleiazid	5 kp × 15 cm (0,75 kp m)	0,75
Hexogen	5 kp × 15 cm (0,75 kp m)	0,75
Pikrinsäure	5 kp × 15 cm (0,75 kp m)	0,75
Trinitrotoluol	5 kp × 30 cm (1,5 kp m)	1,5
Bleitrinitroresorcinat	5 kp × 30 cm (1,5 kp m)	1,5

*) Prüfung 3 (a) (ii) der Empfehlungen für die Beförderung gefährlicher Güter; Handbuch über Prüfungen und Kriterien; Vereinte Nationen.
DIN EN-13631-4, Explosivstoffe für zivile Zwecke – Sprengstoffe – Bestimmung der Schlagempfindlichkeit von Explosivstoffen, Beuth-Verlag.

Stoff	Fallgewicht × Fallhöhe (Schlagenergie)	Für das Fallgewicht 0,1 kp, 1 kp, 5 kp, 10 kp beträgt die niedrigste Schlagenergie in kp m
Ammonium-perchlorat	5 kp × 50 cm (2,5 kp m)	2,5
Dinitrobenzol	10 kp × 50 cm (5 kp m)	5

(Ammoniumnitrat und Dinitrotoluol sind mit dem 10-kp-Fallgewicht bis zu einer Fallhöhe von 50 cm [Schlagenergie 5 kp m] nicht schlagempfindlich)

B. Sprengstoffmischungen

wie bei A.

Gurdynamit	1 kp × 10 cm (0,1 kp m)	0,1	
Dynamit 1	1 kp × 10 cm (0,1 kp m)	0,1	
Sprenggelatine	1 kp × 20 cm (0,2 kp m)	0,2	
Ammon-Gelit 1	1 kp × 20 cm (0,2 kp m)	0,2	
Ammon-Gelit 3	1 kp × 20 cm (0,2 kp m)	0,2	
Donarit 1	5 kp × 20 cm (1,0 kp m)		1,0
Ammonex 1	5 kp × 20 cm (1,0 kp m)		1,0
Ammonit 3	5 kp × 20 cm (1,0 kp m)		1,0
Ammonit 2	5 kp × 40 cm (2,0 kp m)		2,0

Die Schlagenergie ist in der Tabelle in Kilopondmeter angegeben. Für die Umrechnung in normgerechte Einheiten *Newton (N) bzw. Joule* (J) gilt:

1 kp m = 9,8066 Nm
1 Nm = 0,10197 kp m
1 Nm = 1 J

Schlagwetter

fire damp; grisou

sind explosionsfähige Gemische aus Grubengas (Methan, CH_4) und Luft. Sie sind bei normalen Druck- und Temperaturbedingungen zu Explosionen fähig und leiten sie auch weiter, wenn sie zwischen 5 und 15 % Methan enthalten.

Für die amtlichen Prüfungen der Wettersprengstoffe in den Versuchsstrecken wird auf Grund ministerieller Verfügung ein Methan-Luftgemisch mit 8,5 bis 9,5 % Methan vorgeschrieben. In diesem Bereich ist die Explosionsgefährlichkeit am größten.

Schneckenpressen

screw extruder; extrudeuse à vis

Diese in der Industrie der Kunststoffe üblich gewordenen Verformungsmaschinen sind frühzeitig in der Sprengstoff- und Pulverpraxis benutzt worden.

Fast alle Patroniermaschinen für gelatinöse Sprengstoffe benutzen Schneckenpaare als Fördermittel, allerdings ohne erhebliche Drucke aufzubauen.

Darüber hinaus wurden jedoch Schneckenpressen zum Füllen von Geschossen mit pulverförmigen, durch Druck verdichtbaren Sprengstoffen benutzt.

Kontinuierlich beschickte und einen kontinuierlichen Strang auspressende liegende Schneckenpressen werden gebraucht, um insbesondere POL-Pulver in Profilen auszuformen (z. B. als Röhren oder bestimmten Formen für Raketen).

Schneidladungen

dienen zum Durchtrennen von Eisenplatten, Kabeln, Brückenträgern u. a.; sie sind nach dem Hohlladungsprinzip aufgebaut (→ Hohlladungen), aber nicht rotationssymmetrisch, sondern als längere Rinnen. Sie werden auch als Dachladung oder lineare Hohlladung bezeichnet.

Auch die Schneidladungen werden in ihrer Schnittiefe wesentlich durch die Form (z. B. winkel- oder halbkreisförmig), durch die Dicke und durch das Material der ausgekleideten Ausdehnung beeinflußt. Der optimale Abstand zu dem Objekt hängt von der gewählten Geometrie ab. Maximal-Durchschlagswerte gegen St 37-Material liegen bei dem 2fachen der Basisbreite der Schneidladung.

Wie bei der rotationssymmetrischen Hohlladung wird ein Stachel aus der Belegung bei Detonation der Sprengladung erzeugt, der hier fächerförmig ausgebildet ist.

Schonendes Sprengen (Profilsprengen)

Mit Schonendem Sprengen soll das geplante Profil eines Sprengvorhabens möglichst genau und ohne Mehrausbruch unter größtmöglicher Schonung des stehengebliebenen Gebirges (Vorkerben, Vorspalten, Abspalten, Abkerben, Konturensprengen) ausgesprengt werden. Das Sprengverfahren erfordert einen erhöhten Bohrlochaufwand in der Profillinie mit zueinander parallel verlaufenden Bohrlöchern. Es hat sich gezeigt, daß bei festerem Gestein ein Verhältnis zwischen Bohrlochabstand und deren Vorgaben von 1 : 1,5 am günstigsten ist. Die Ladedichte (Bohrlochdurchmesser: Ladungsdurchmesser) sollte möglichst gering sein. Hochbrisante Sprengstoffe bringen die besten Ergebnisse. Als zweckmäßig haben sich Ladungen aus Sprengschnüren erwiesen, mit 40 bis 100 g Füllgewicht/m. Im Steinkohlenbergbau ist auch eine schlagwettersichere Wettersprengschnur eingesetzt mit einem Füllgewicht von 4 g/m. Zum Werfen der Vorgabe müssen zur Wettersprengschnur einige Patronen beigeladen werden. Bohrschemen zum schonenden Sprengen siehe SPRENGTECHNIK, DIN 20163, S. 4, Beuth-Vertrieb GmbH (1973).

Der Schub

thrust; poussée

ist in der Raketentechnik die durch die ausströmenden Gase bewirkte Rückstoßkraft. Er wird in Tonnen, Kilopond oder Newton angegeben und ist eine der wichtigsten Kenngrößen; das Startgewicht einer Rakete muß in einem gewissen Verhältnis zum Schub stehen. Der Startschub wird üblicherweise höher als der Marschschub gewählt; man kann dies durch zusätzlich angeordnete Starthilfen (→ Booster) oder durch einen kombinierten Treibstoffaufbau bei den Feststoffraketen erreichen.

Der Schub berechnet sich aus Ausströmgeschwindigkeit und Durchsatz.

Schubmessung

Die Schubmessung einer Rakete bedeutet die Registrierung einer Kraft (in Tonnen, Kiloponds bzw. Newton) über den Zeitraum des Brennvorganges. Diese Kraft läßt man auf ein Widerlager unter Zwischenschaltung eines Meßgebers einwirken. Als Meßprinzip benutzt man im einfachsten Fall eine Waage, sonst einen Dehnungsmeßstreifen (d. h. mittels Widerstandsänderung durch Druck) oder einen Piezoquarz und zeichnet mittels Oszillograph über eine Kompensa-

tionsschaltung auf. Die heutige Meß- und Rechentechnik erlaubt die sofortige Ermittlung und Aufzeichnung eines Gesamtimpulses.

Die Messung des Drucks in der Brennkammer erfolgt meßtechnisch in gleicher Weise. Die Geber müssen hierzu an vorbereiteten Meß-Stellen an die Brennkammer angeschraubt werden.

Schutzwall

barricade; merlon, écran

Schutzwälle sind aufgeschüttete und bewachsene Erdwälle zum Schutz explosionsgefährdeter Gebäude. Ihre Wallkrone muß das zu schützende Gebäude um mindestens einen Meter überragen. Bauweisen und Sicherheitsabstände in explosionsgefährdeten Anlagen regeln die Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaft der Chemischen Industrie; → auch: Umweltschutz.

Schwaden

fumes; produits de détonation, fumées de tir

sind die gasförmigen Reaktionsprodukte einer → Detonation.

Die Zusammensetzung der Schwaden eines Explosivstoffes kann theoretisch berechnet werden (→ Thermodynamische Berechnung von Explosivstoffen). Bei gewerblichen Sprengstoffen mit Sauerstoffüberschuß wird hierbei konventionell angenommen, daß nur CO_2 und kein CO und ferner nur H_2O, N_2 und überschüssiges O_2 gebildet wird. In Wirklichkeit ist der Reaktionsablauf sehr kompliziert, so daß mit der Bildung von CO, NO, NO_2 und vielen Substanzen mehr (namentlich wenn schwefel- und/oder chlorhaltige Komponenten vorhanden waren) gerechnet werden muß.

Auf jeden Fall ist eine gewisse Toxität von Sprengstoff- und Treibstoffschwaden anzunehmen und das Sicherheitsverhalten danach auszurichten. Bei starkem Sauerstoffüberschuß der gewerblichen Sprengstoffe überwiegt die Gefahr durch Stickoxide, bei Sauerstoffunterschuß die Gefahr durch CO.

Die von wirkenden Sprengladungen produzierten Schwaden werden in der EU nach folgendem prinzipiellen Verfahren bestimmt*):

In einer geschlossenen Kammer mit mindestens 15 m^3 Volumen und einer leistungsfähigen Luftumwälzung wird eine Menge von ca. 1 kg

*) Beschreibung des Prüfverfahrens: DIN EN 13631-16, Explosivstoffe für zivile Zwecke – Sprengstoffe – Teil 16: Nachweis und Messung von toxischen Schwadenbestandteilen.

des zu prüfenden Sprengstoffs gezündet. Dabei befindet sich der Sprengstoff in einem Stahlrohr mit 150 mm Innendurchmesser und einer Wandstärke, die eine Vielzahl von Sprengungen im selben Rohr ermöglicht. Nach der Detonation wird die Luftumwälzung in Betrieb genommen und nach ca. 2 min beginnt die kontinuierliche Analyse der weiterhin umgewälzten Luft. Die Analysendauer beträgt zwanzig Minuten und es werden CO, CO_2, NO und NO_x quantitativ nachgewiesen. Während sich bei CO und CO_2 recht schnell ein konstanter Wert einstellt, finden bei NO und NO_x Nachreaktionen statt. Durch die kontinuierliche Messung ihrer Konzentrationen über einen längeren Zeitraum ist es aber möglich auf den Zeitpunkt 0 (Detonation) zurück zu extrapolieren. Auf diese Art werden versuchs- und kammerspezifische Einflüsse auf das Prüfergebnis minimiert.

Die bei der Prüfung erhaltenen Werte werden von den nationalen Behörden in der EU dazu benutzt, etwaige Verwendungsbestimmungen für den jeweiligen Sprengstoff festzulegen.

Schwarzpulver

black powder; poudre noire

sind mechanische Gemenge aus Kalisalpeter, Schwefel und Holzkohle, die meist gekörnt und auf bestimmte Korngrößen klassiert werden.

Standardzusammensetzung: 75 % Kalisalpeter
10 % Schwefel
15 % Holzkohle.

Außerdem gibt es Abstufungen mit 74, 70, 68 und 64 % Salpeter. Entsprechende Mischungen auf Basis Natronsalpeter nennt man → Sprengsalpeter.

Bekanntlich stellt Schwarzpulver das älteste Sprengmittel der Menschheit dar, das seit 1200 n. Chr. aus China und seit dem 14. Jahrhundert in Europa als Erfindung von *Berthold Schwarz* bekannt geworden ist.

Die Ausgangsstoffe werden fein zerkleinert, in Kollergängen gemischt und verdichtet und dann in hydraulischen Pressen zu Kuchen gepreßt. Diese Kuchen werden wieder zerkleinert und die so erhaltenen Körper ohne oder mit Graphit poliert. Die Herstellung erfordert große Sorgfalt.

Schwarzpulver wird für Sicherheitszündschnüre, für pyrotechnische Zwecke, für spezielle Zündsätze sowie für Sprengungen in Steinbrüchen verwendet und ist vielfach heute noch nicht durch andere Sprengmittel ersetzbar. Es zeichnet sich durch einen schnellen, nur geringen Einfluß benötigenden Druckaufbau bei lediglich schiebender Wirkung aus; Schwarzpulver kann unter normalen Bedingungen nicht

detonieren. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Explosion beträgt maximal 500 m/s.

Als Sprengpulver-Normalkorn wird eine Körnung von 2 bis 8 mm, als Sprengpulver-Feinkorn eine Körnung von 1,5 bis 3 mm bezeichnet.

Zündschnurpulver weist eine Körnung von 0,20 bis 0,70 mm auf.

Für andere Zwecke, wie Feuerwerkskörper, wird Schwarzpulver in zahlreichen Kornfeinheitsabstufungen und in Mehlform geliefert.

Eine Übersicht über die Typenbezeichnungen und Körnung gibt folgende Tabelle:

Korngrößentabelle der Schwarzpulversorten

Pulversorte	Korngröße
Sprengpulver normal	2 bis 8 mm
Sprengpulver fein	1,5 bis 3 mm
Böllerpulver	0,2 bis 2 mm
Musketpulver	0,2 bis 1 mm
Zündschnurpulver	0,2 bis 0,7 mm
Feuerwerkspulver Mehl	fein zerriebenes 0,7 mm lichte Maschenweite
Feuerwerkspulver Mehl FF	Pulver abgesiebt 0,3 mm lichte Maschenweite
Feuerwerkspulver Mehl FFF	über ein Sieb von 0,15 mm lichte Maschenweite
Feuerwerkspulver, Korn:	0,3 bis 0,7 mm
	0,3 bis 0,93 mm
	0,3 bis 1,5 mm
	0,5 bis 1,2 mm
	0,7 bis 1,5 mm
	0,93 bis 1,5 mm
	2 bis 4 mm
	4 bis 8 mm
Jagdpulver F	0,2 bis 1,2 mm
Jagdpulver FF	0,2 bis 1,04 mm
Jagdpulver FFF	0,2 bis 0,7 mm
Jagdpulver FFFF	0,15 bis 0,43 mm

Schwarzpulver für Großbohrlochsprengungen kann eingeschlaucht (zick-zack-verpackt) geliefert werden.

Schwarzpulveranzündschnüre

safety fuses; mèches de sureté

sind garnumsponnene Schwarzpulverstränge, die auf eine bestimmte Brennzeit (im allgemeinen 120 s/m) eingestellt sind. Sie dienen zum Zünden von Sprengladungen; die Sprengkapsel der Schlagpatrone wird „angewürgt". Es ist darauf zu achten, daß die Schnur senkrecht zur Achse frisch angeschnitten und die Schnittfläche bis auf den Zündspiegel der Kapsel geführt wird. Die Schnurlänge richtet sich nach der benötigten Sicherheitszeit. Die Schnüre bestehen (von innen nach außen) aus der Schwarzpulverseele mit einem oder zwei „Markenfäden", deren Farbe ein Kennzeichen der herstellenden Fabrik ist, aus 2 oder 3 Garnumspinnungen aus Jute, Baumwolle oder anderen Garnen, einer Imprägnierung aus Bitumen und einem Überzug aus Kunststoff.

Das Schwarzpulver enthält 65–74 % Kalisalpeter und hat eine Körnung von 0,25–0,75 mm. 1 m Zündschnur enthält etwa 4–5 g Pulver.

In der Schweiz wird ein Sondertyp verwendet, bei dem die Seele aus einer mehlfeinen pyrotechnischen Mischung besteht und mit Papierstreifen und einer großen Zahl von Textilfäden umhüllt ist.

Schwefel

sulfur; soufre

S

Atomgewicht: 32,07
Schmelzpunkt: 113 °C
Siedepunkt: 445 °C
Dichte: 2,07 g/cm^3

Schwefel dient zusammen mit Holzkohle als Brennstoff im → Schwarzpulver und → Sprengsalpeter. Schwefelblüten (sublimierter Schwefel) ist nicht völlig in Schwefelkohlenstoff löslich und enthält Spuren von Schwefelsäure; die Verwendung von Schwefelblüte ist daher für die Schwarzpulverherstellung nicht zugelassen.

Schwingungsmeßgeräte*)

(nach DIN 45669 A3HV1-315 oder DIN 45669 A6HV1-315) dienen zum Messen von Erschütterungen, die unvermeidlich bei der Vornahme von Sprengarbeiten auftreten. Die Ausbreitung und Intensität der Erschütterungswellen können mit den Geräten meßtechnisch er-

*) Literatur: NOBEL-HEFTE **49**, S. 57–84 (1983).

faßt werden. Wichtig ist, daß ein sonst nur durch subjektives Gefühl registriertes Phänomen, wie Knall und Erdstoß, mit Zahlenwerten bzw. Kurven belegt wird. Kritische Sprengvorhaben, wie z. B. Tunnelvortriebe in der Nähe von Hochhäusern und Brücken, werden daher laufend mit Schwingungskurven dokumentiert.

Die Zündwerke ERNST BRÜN*) stellen folgende Geräte her:

Schwingungsmesser ZEB/SM3 DIN 45669 A3HV1-315 und ZEB/SM6 DIN 45669 A6HV1-315. Sie sind Drei- bzw. Sechskomponenten-Geber mit Steuergerät, Lichtpunktschreiber und Digitalanzeige der Maximalwerte der einzelnen Kanäle. Sie sind für den mobilen Einsatz ausgerüstet.

Schwingungsmesser ZEB/SM3K DIN 45669 A3HV1-315; ein Dreikomponenten-Geber mit Steuergerät (Bildschirm, Tastatur, MINI-DCR zur Magnetaufzeichnung) und Matrixdrucker. Mit dem Gerät werden die kompletten Schwingungszüge für x, y, und z auf dem Bildschirm und dem Matrixdrucker dargestellt.

Schwingungsmesser ZEB/SM3D DIN 45669 A3HV1-315. Ein Dreikomponenten-Geber mit Steuergerät (Bildschirm, Tastatur und Metallpapier-Drucker) zur Registrierung der $v_{i,max}$ und KB,max-Werte auf dem Bildschirm und dem Drucker. Dieses Gerät eignet sich speziell zur Langzeitüberwachung.

Seismische Sprengstoffe

dienen zur Erzeugung des Druckstoßes bei seismischen Messungen, die zur Erforschung geologischer Lagerstätten, insbesondere von Erdölhorizonten, durchgeführt werden. An die Sprengstoffe stellt man die Anforderung, daß sie auch unter hohen hydrostatischen Drücken noch voll durchdetonieren.

Die Praxis stellt ferner Anforderungen an die besondere Ausbildung der Patronenformen (kuppelbare Patronen; Kanister für Sprengungen im Küstenvorfeld u. a. m.).

Bekannte Typen: Geosit, Seismo-Gelit.

*) Zweigniederlassung der WASAGCHEMIE Sythen GmbH.

Seismo-Gelit 2

Sprengtechnische Daten	
Beschaffenheit	gelatinös, orangerot
Sauerstoffwert	+ 1,6
Normalgasvolumen	780 l/kg
Explosionswärme (H_2O gas)	990 kcal/kg
	= 4145 kJ/kg
Spezifische Energie	106 mt/kg
	= 1040 kJ/kg
Energieniveau	170 mt/l
	= 1663 kJ/l
Dichte	1,6 g/cm^3
Bleiblockausbauchung	390 cm^3/10 g
relative weight strength	85 %
Detonationsgeschwindigkeit,	
freiliegend	6100 m/s
im Einschluß	6100 m/s
Stauchung nach *Kast*	6,6 mm
Stauchung nach *Hess*	Block zertrümmert
Schlagempfindlichkeit	0,4 kpm
	= 4 Nm

Seismo-Gelit 2 ist der Handelsname für einen seismischen Spezialsprengstoff der Dynamit Nobel AG. Er ist ein gelatinöser Sprengstoff auf Basis von Nitroglykol und Ammonsalpeter, der sensibilisierende Zusätze enthält; er detoniert auch unter hohen hydrostatischen Wasserdrücken vollständig und überträgt die Detonation sicher von Patrone zu Patrone. Er eignet sich deshalb für seismische Sprengungen in tiefen Bohrlöchern sowie bei Bohrlochtorpedierungen bei der Erdöl- und Wasser-Gewinnung. Die besonderen Eigenschaften des Seismo-Gelit wurden durch sensibilisierende Zusätze erreicht.

Infolge der hohen Detonationsgeschwindigkeit, auch ohne jeden Einschluß, ist er auch zur Zerkleinerung von grobem Haufwerk durch Auflegersprengung geeignet. Sehr bewährt hat sich zur Zerkleinerung großer Knäpper das Absprengen mit Seismogelit in stark verkürzten Bohrlöchern; Knall und Sprengstoffaufwand sind dann wesentlich geringer. Seismogelit 2 ist ferner geeignet zur sicheren Initiierung hochunempfindlicher Sprengstoffe, wie der → Sprengschlämme (Slurries).

Der Sprengstoff kann in verschraubbaren Kunststoffrohren patroniert geliefert werden.

Seismoplast

Sprengtechnische Daten	
Beschaffenheit	plastisch, rosa
Sauerstoffwert	–33,8 %
Normalgasvolumen	750 l/kg
Explosionswärme (H_2O gas)	5259 kJ/kg
spez. Energie	975 kJ/kg
Energieniveau	1500 kJ/l
Dichte	1,54 g/cm^3
Bleiblockausbauchung	397 ml/10 g
D.-Geschwindigkeit freiliegend	7300 m/s
D.-Geschwindigkeit im Einschluß	7300 m/s
Stauchung n. *Heß*	35 mm
Stauchung nach *Kast*	5,06 mm
Übertragung freihängend	>2 cm
Schlagempfindlichkeit	20 Nm

Seismoplast ist der Handelsname für einen Sprengstoff der Orica für Sprengungen unter außergewöhnlichen Umständen. Wegen seiner negativen Sauerstoffbilanz ist der Einsatz nicht unter Tage möglich. Infolge seiner hohen Detonationsgeschwindigkeit und Dichte besitzt er eine sehr große Brisanz. Die Wasserbeständigkeit ist ausgezeichnet. Der Temperaturbereich, unter dem ein Einsatz möglich ist, reicht von –40 bis +120 °C; der Druckbereich bis 500 bar. Der Sprengstoff kann also z. B. in Tiefbohrlöchern unter hohen Drücken und Temperaturen verwendet werden.

Sekundär-Sprengstoff

secondary explosive; explosif secondaire

Dieser im deutschen Sprachbereich weniger übliche Begriff bezeichnet solche (und damit alle zur Erzeugung einer Sprengwirkung angewendeten) Explosivstoffe, welche zur Einleitung der Detonation den Detonationsstoß eines Initialsprengstoffs (demnach auch: „Primär-Sprengstoffs“) benötigen.

Unempfindliche Salze, wie → Ammoniumnitrat oder → Ammoniumperchlorat werden im englischen Sprachraum als „tertiary explosives“ bezeichnet.

Semigelatin Dynamite

haben ihren Namen von ihrer Konsistenz abgeleitet. Diese sog. Halbgelatinen bestehen überwiegend aus Ammonsalpeter, Holzmehl und 10–20 % schwach gelatiniertem Sprengöl.

Semtex

ist der Handelsname eines plastischen Sprengstoffs (→ Plastische Sprengstoffe) der tschechischen Firma Synthesia, Pardubice-Semtin.

Semtex besteht aus einem → Nitropenta und → Hexogen-Gemisch, als Plastifizierungsmittel wird ein Styrol-Butadien-Copolymerisat eingesetzt.

sheathed explosives

explosifs gainés; ummantelte Sprengstoffe

Bezeichnung für Wettersprengstoffe, die mit einem besonderen „Mantel“ umgeben patroniert wurden.

Sprengstoffe mit hohem Sicherheitscharakter wie diese erwähnten Mantelsprengstoffe, jedoch mit homogenem Aufbau, werden „eq.s = explosives equal sheathed“ genannt, → Wettersprengstoffe.

SINCO®-Anzündverstärker und Gassatz für Kraftfahrzeug-Sicherheit

SINCO® wurde von Dynamit Nobel GmbH als eine umweltverträgliche und besonders stabile Stoffklasse zur schnellen Gasentwicklung eingeführt. Es handelt sich hierbei um pyrotechnische Gassatzmischungen auf der Basis stickstoffreicher Brennstoffe und Sauerstoffträger als Reaktionspartner. Im Verlauf der Umsetzung zwischen den Brennstoffen und Sauerstoffträgern wird ein fester Abbrandrückstand, der im wesentlichen aus Alkalicarbonaten besteht, nicht toxische Gasprodukte aus Stickstoff, Wasserdampf, Kohlenstoffdioxid und Sauerstoff sowie Wärme freigesetzt.

Die Gassatzmischungen selbst sind frei von Schwermetallen und weisen eine hohe toxikologische Verträglichkeit auf. In der Prüfung der akuten oralen Toxizität, durchgeführt gemäß EG-Richtlinie, lag der LD_{50}-Wert oberhalb 2500 mg/kg.

Zusätzlich zeichnen sich die pyrotechnischen Mischungen durch eine hohe thermische Stabilität aus. Dies ist auch notwendig, um über einen langen Zeitraum auch nach thermischen Belastungen eine konstante Umsetzungscharakteristik zu gewährleisten.

Eine stabile Umsetzung der Mischungen ist erst unter Verdämmung möglich. Dieses Verhalten mindert das Gefahrenpotential, welches bei unsachgemäßer Handhabung oder beim eventuellen Mißbrauch auftreten kann.

Aufgrund seiner Eigenschaften eignet sich SINCO® zum Personenschutz in den passiven Sicherheitssystemen in Kraftfahrzeugen. Neben der Anwendung von SINCO® in den Druckelementen für Gurtstraffer oder Schloßstraffer ist die Gassatzmischung für Fahrer- und Beifahrergasgeneratoren geeignet. Hier übernimmt die Mischung, neben der Hauptaufgabe der Gasentwicklung, auch die Funktion einer Verstärkerladung in den Anzündelementen der Gasgeneratoren (→ Airbag).

Der gebildete Feststoffanteil, der über die Zusammensetzung der Mischung gesteuert werden kann, begünstigt den Anzündvorgang der Tabletten im Gasgeneratorenbrennraum.

Silberazid

silver azide; azoture d'argent

AgN_3

Mol.-Gew.: 149,9
Stickstoffgehalt: 28,03 %
Dichte: 5,1 g/cm^3
F.: 251 °C
Bleiblockausbauchung: 115 cm^3
Verpuffungspunkt: 273 °C

Silberazid ist lichtempfindlich, unlöslich in Wasser, löslich in Ammoniak, aus dem es sich umkristallisieren läßt. Das Silberazid wird aus Natriumazid und Silbersalzlösungen, je nach den Herstellungsbedingungen, als käsiger Niederschlag in amorpher Form gewonnen.

Trotz der sehr guten Initialwirkung, die besser ist als die des Bleiazids, hat es als Initialsprengstoff infolge seiner von der Struktur bestimmten schlechten Dosierbarkeit und seiner hohen Reibungsempfindlichkeit keine breite Anwendung gefunden.

Silbercarbid

silver carbide; acétylure d'argent; Acetylensilber, Silberacetylenid

Ag_2C_2

Mol.-Gew.: 239,8
Sauerstoffwert: –26,7 %
Verpuffungspunkt: 200 °C

Silbercarbid ist sehr schlagempfindlich.

Man gewinnt die Verbindung durch Einleiten von Acetylen in Silbernitratlösungen.

Silberfulminat

silver fulminate; fulminate d'argent; Knallsilberweißes Kristallpulver

AgCNO

Mol.-Gew.: 149,9
Sauerstoffwert: –10,7 %
Stickstoffgehalt: 9,34 %

Silberfulminat, Knallsilber entsteht im gleichen Reaktionsablauf wie → Knallquecksilber, also aus der salpetersauren Lösung von Silber durch Umsatz mit Alkohol. Es ist ebenfalls giftig.

Knallsilber ist weitaus empfindlicher als Knallquecksilber. Da es mit minimaler Anlaufstrecke detoniert, ist seine Initiierwirkung dem Knallquecksilber überlegen; seine Empfindlichkeit stand der Einführung in die Praxis entgegen. Ein völlig anderes, sogenanntes Bertholletsches Knallsilber (kein Fulminat) wird erhalten, wenn man die Lösung von frisch gefälltem Silberoxid in konzentriertem Ammoniak verdunsten läßt. Die vermutliche Formel ist Ag_3N. Es ist außerordentlich empfindlich und explodiert bereits beim Eindampfen der oben erwähnten ammoniakalischen Lösung.

Silvered-Vessel-Test

Dieses erstmals von *Hess* im Jahre 1883 vorgeschlagene Prüfverfahren beruht auf dem bei der Erhitzung eines Treibmittels in einem Dewar-Gefäß eintretenden, durch die Zersetzungswärme des Pulvers bedingten Temperaturanstieg. Nach der seit der Jahrhundertwende in England wegen der Unzuverlässigkeit des Abel-Testes angewandten Ausführung wurden ursprünglich 80 g, später 45 g bzw. 50 g Pulver solange auf 80 °C erhitzt, bis die Temperatur des Pulvers auf 82 °C angestiegen war. Die Dauer bis zur Erreichung der Temperatur gilt als Maß für die Stabilität.

In neuerer Zeit findet der Silbergefäßtest auch in der Bundesrepublik in der von *M. Frey* abgeänderten Form Anwendung. Hierbei werden einem in das Dewar-Gefäß eingesetzten elektrischen Heizkörper verschiedene Wärmemengen zugeführt und die Temperaturdifferenzen zwischen dem Inneren des Dewar-Gefäßes und dem Ofen mittels Thermoelemente gemessen. Aus einer Eichkurve, die sich aus den so

erhaltenen Meßwerten ergibt, wird die Zersetzungswärme des Treibmittels abgelesen. Das Verfahren gestattet die Bestimmung der Zersetzungswärme bei konstanter Lagertemperatur in Abhängigkeit von der Lagerzeit. Die Zersetzungswärmen von Treibmitteln können so miteinander verglichen werden. Durch Messungen bei verschiedenen Lagertemperaturen läßt sich der Temperaturfaktor der Zersetzungsgeschwindigkeit errechnen.

SINOXID-Anzündsätze

SINOXID ist das Warenzeichen der traditionellen Anzündsätze der Firma Dynamit Nobel AG. Die Rezeptur wurde von Rathsburg und von Herz entwickelt und 1928 als Tetrazen-Trizinat-Anzündsatz patentiert.

Der Begriff SINOXID setzt sich aus „sine“ und „oxid“ zusammen und bedeutet: ohne Rost. Damit wird gegenüber den → Quecksilberfulminat → Kaliumchlorat-Mischungen die Korrosionsfreiheit hervorgehoben. SINOXID-Sätze bestehen aus den Komponenten → Bleitrizinat, → Tetrazen, → Bariumnitrat, Bleidioxid, Anitmontrisulfid und Calziumsilizid; sie erfüllen alle Anforderungen in der Minitionstechnologie. SINOXID-Sätze zeigen eine sehr gute chemische Stabilität und Lagerfähigkeit, sind abrasions-, erosions- und korrosionsfrei und zünden Treibladungspulver präzise an.

SINTOX-Anzündsätze

SINTOX ist das international registrierte Warenzeichen für neu entwickelte Anzündsätze der Dynamit Nobel AG. Sie sind erforderlich, wenn beim Schießen in geschlossenen Ständen die Raumluft nicht mit blei-, antimon- oder bariumhaltigen Verbrennungsprodukten belastet werden soll.

Als → Initialsprengstoffe werden → Diazodinitrophenol oder das neu entwickelte Strontiumdiazodinitroresorcinat eingesetzt. Als Oxidationsmittel dienen spezielle Formen des → Zinkperoxids. Daneben können die Anzündsätze Metallpulver, z. B. Titan, enthalten. Teilweise wird → Tetrazen als Sensibilisator benötigt.

Für den Anzündsatz liegt der Restgehalt an Blei-, Barium- oder Antimonverbindungen bei < 0,01 %. Zink wird als unschädliches Zinkoxid emittiert.

Die SINTOX-Anzündsätze verhalten sich bezüglich Korrosion und Erosion wie → SINOXID-Anzündsätze. Die Präzision der Geschosse wird nicht negativ beeinflußt.

Slurries

→ Sprengschlamm; → Emulsions-Sprengstoffe

Sodatol

eine Mischung von Natriumnitrat und Trinitrotoluol (50/50).

Spaltzünder

spark detonators; amorce électrique à étincelle

dienten, wie die → Brückenzünder, zum elektrischen Zünden von Sprengladungen. Hier erfolgte die Stromleitung in der Zündpille durch den Zündsatz selbst, dem leitende Beimengungen, z. B. Graphit zugesetzt waren. Zu ihrer Zündung sind höhere Spannungen als bei Brükkenzündern nötig.

Die Spaltzünder sind inzwischen durch die → Brückenzünder verdrängt.

Spezifische Energie

specific energy; force

Als spezifische Energie eines *Explosivstoffs* bezeichnet man seine theoretisch errechenbare Arbeitsleistung pro Kilogramm gemäß der allgemeinen Zustandsgleichung für Gase:

$F = pV = nRT$

p: Druck; *V:* Volumen; *n:* Molzahl der Explosionsgase je kg (siehe auch Schwadenvolumen); *R:* allgemeine Gaskonstante; *T:* Explosionstemperatur, als absolute Temperatur angegeben (siehe dort). Setzt man das Volumen gleich 1, d. h. beträgt die Ladedichte 1, so wird die spezifische Energie

$f = p.$

Also gleich dem Druck, den die gespannten Explosionsgase bei ihrer Explosionstemperatur auf ihren unzerstörbar gedachten Einschluß ausüben würden. Daher stammt der ebenfalls vielverwendete Ausdruck „spezifischer Druck“, und die Größe *f* wird daher oft in Atmosphären angegeben.

Korrekt betrachtet ist *f* jedoch eine Energiegröße und wird daher neuerdings in Meter-Tonnen je kg angegeben. Man erhält *f* in dieser Dimension, wenn man für *R* den Zahlenwert $0{,}8479.10^{-3}$ einsetzt.

Nach einem Vorschlag von *Roth**) wird das Produkt aus Ladedichte und spezifischer Energie, also die spezifische Energie pro Volumeneinheit, als „Energieniveau“ bezeichnet und in Meter-Tonnen pro Liter angegeben.

Den Normvorschriften entsprechend werden diese Energieangaben außerdem in Joule umgerechnet aufgeführt.

Näheres zur Berechnung → Thermodynamische Berechnung von Explosivstoffen, Ferner → Arbeitsvermögen.

Spezifischer Impuls

specific impulse; impulse spécifique

Der spezifische Impuls eines Treibstoffes bzw. eines Treibstoffpaares für Raketenantriebe ist der wichtigste Kennwert für die spezifische Leistungsfähigkeit. Er wird in Kilopond mal Sekunden oder in Newton-Sekunden je Kilogramm Treibstoff angegeben**).

$$I_s = \frac{F \cdot t}{W}$$

I_s: spezifischer Impuls
F: Schub
t: Zeit
W: Masse des Treibstoffs.

Der Berechnung des spezifischen Impulses liegt die Annahme zugrunde, daß die Enthalpie-Abnahme***) der Brenngase beim Übergang aus der Kammer in den Düsenaustritt vollständig ist, kinetische Energie (einhalb Masse mal Quadrat der Geschwindigkeit; Impuls = Masse mal Geschwindigkeit) umgesetzt wird; daraus resultiert die Gleichung

$$I_s = \sqrt{2J(H_c - H_e)} \quad \text{N s/kg}$$

J: mechanisches Wärmeäquivalent	Dimension:
H_c: Enthalpie der Brenngase in der Klammer (also bei Kammertemperatur und Kammerdruck)	kcal/kg bzw. kJ/kg
H_e: Enthalpie der Gase am Düsenaustritt	kcal/kg bzw. kJ/kg

*) *J. Roth*, Nobelhefte *20*, 117 (1954). In der Meter-Tonnen-Angabe ist die Tonne als Gewichtstonne = 1 000 Kilopond aufzufassen.

**) Da Kilopond und Kilogramm in gleichen Meßwerten erscheinen, bleibt scheinbar nur die Sekundenangabe in der Dimension übrig. Daher sind alle Impulszahlen direkt vergleichbar, auch wenn andere Maßsysteme verwendet werden (→ Maß-Schlüssel im hinteren Bucheinband).

***) zum Entropie-Begriff → Fußnote auf S. 310.

Die Gleichung ist mit Hilfe von Computerprogrammen unter Berücksichtigung der verschiedenen Gleichgewichte lösbar, → thermodynamische Berechnung.

Als Funktion von der Kammertemperatur R_c ist der spezifische Impuls:

$$I_s = k_1 \sqrt{T_c \cdot N} = k_2 \sqrt{\frac{T_c}{M}}$$

T_c: Kammertemperatur in Grad Kelvin K
N: Molzahl pro Masseneinheit
M: mittleres Molekulargewicht der Brenngase
k_1; k_2: Konstanten.

Der Wert für den spezifischen Impuls wird hoch, wenn die Brenntemperatur T_c hoch und das mittlere Molekulargewicht der Brenngase möglichst klein ist. Angaben über spezifische Impulse sind nur dann vergleichbar, wenn sie sich auf den gleichen Arbeitsdruck in der Brennkammer beziehen. (Ein häufig verwendeter Standardwert ist 1000 pounds per square inch = 70,306 at.)

Nähere Mitteilungen s.: *Barrère, Jaumotte, Fraeijs de Veubeke, Vandenkerckhove:* Raketenantriebe. Elsevier Publishing Comp. Amsterdam 1961.
Dadieu, Damm, Schmidt: Raketentreibstoffe. Springer, Wien 1968.
E. Büchner, Zur Thermodynamik von Verbrennungsvorgängen, 2te Auflage, München 1974.

Sprenggelatine

blasting gelatine; dynamite gomme

ist einer der stärksten gewerblichen Sprengstoffe. Sie besteht aus 92–94 % Nitroglycerin, das mit 6–8 % Collodiumwolle gelatiniert wurde. Sie ist ein idealer Sprengstoff, da sich der Sauerstoffüberschuß des Nitroglycerins und der Sauerstoffmangel der Collodiumwolle gerade ausgleichen.

Beschaffenheit: gelatinös
Sauerstoffbilanz: +0,6 %
Explosionswärme (H_2O gas): 1546 kcal/kg = 6473 kJ/kg
Spezifische Energie: 134 mt/kg = 1323 kJ/kg
Energieniveau: 212 mt/l = 2080 kJ/l
Normalgasvolumen: 710 l
Sprengstoffdichte: 1,58 g/cm^3
rel. weight strength: 100 %
Bleiblockausbauchung: 600 cm^3
Detonationsgeschwindigkeit, freiliegend: 2500 m/s

Detonationsgeschwindigkeit unter Einschluß: 7700 m/s
Stauchung nach *Kast*: 8 mm
Stauchung nach *Hess*: 29 mm
Detonationsübertragung: 10 cm
Schlagempfindlichkeit: 0,3 kp m = 2,9 Nm

Da die hohe Sprengleistung selten erforderlich ist, wird Sprenggelatine kaum noch praktisch verwendet.

Sprengkapseln

blasting caps; détonateurs

dienen zum Initiieren von Sprengladungen. Sie bestehen aus zylindrischen Kupfer- oder Aluminiumhülsen, welche eine Primärladung aus einem Initialsprengstoff oder einem Initialsprengstoff-Gemisch (z. B. Bleiazid-Bleitrinitroresorcinat), die von einem durchgelochten Innenhütchen festgehalten wird und meistens zur Erzielung einer höheren Brisanz eine Sekundärladung aus einem hochbrisanten Sprengstoff (Tetryl, Nitropenta, Hexogen, Hexanitrostilben) enthalten. Bei der Herstellung werden die einzelnen Sätze nacheinander in die Hülsen eingepreßt.

Die Sprengkapsel kann durch die Flamme einer Zündschnur oder elektrisch gezündet werden. Früher waren für gewerbliche Zwecke 10 Sprengkapseltypen bekannt und genormt, die sich durch die Menge des Initialsatzes sowie durch ihre Größe unterschieden. Heute wird fast nur noch Sprengkapsel Nr. 8 gefertigt (0,3 g Primärladung, 0,8 g Sekundärladung, 40 – 45 mm Länge und 7,0 mm äußerer Durchmesser).

Sprengkraft

→ Arbeitsvermögen, Brisanz, Bleiblockausbauchung.

Sprengkulturverfahren

Das Sprengkulturverfahren wurde in den Jahren nach dem ersten Weltkrieg entwickelt und ist seitdem etwas in Vergessenheit geraten. Es empfiehlt das Aussprengen von Pflanzlöchern für Baumpflanzungen, da die Wurzeln im angerissenen Erdreich leichteres Vordringen haben als aus einer mit dem Spaten ausgehobenen Pflanzgrube.

Eine weitere wesentliche Aufgabe ist das Aufreißen wasserundurchlässiger Schichten, um den Ertrag zu steigern.

Sprenglanze

Eine Bezeichnung für → Abstichladungen.

Sprengmittel

Sprengmittel, → Zündmittel und Sprengzubehör sind alle Stoffe, Gegenstände und Geräte, die zur Ausführung einer Sprengung benötigt werden, also die Sprengstoffpatronen (mit Ausnahme der unpatronierten Anwendung, → PAC-Sprengstoffe und Sprengschlamm), die Sprengkapseln bzw. elektrischen Sprengzünder, ggf. Schwarzpulveranzündschnur oder Sprengschnur, Anzündlitze und Anzündlitzenverbinder.

Sprengzubehör sind (Auszug aus § 2 des Sprengstoffgesetzes)
1. Gegenstände, die ihrer Art nach zur Auslösung einer Sprengung oder zur Prüfung der zur Auslösung einer Sprengung erforderlichen Vorrichtung bestimmt sind und die keine explosionsgefährlichen Stoffe enthalten.
2. Sprengstofflade- und Misch-Ladegeräte für explosionsgefährliche Stoffe, die zum Zwecke des Sprengens benutzt werden.

Zum Sprengzubehör gehören also Zündmaschine, Zündkabel, Leitungsprüfer mit oder ohne Widerstandsmessung, sowie Misch- und Lade-Geräte (z. B. zum pneumatischen Laden von unpatroniertem Sprengstoff, und Geräte zum Einblasen von Patronen).

Sprengmomentzünder

instantaneous detonators; détonateurs instantanés

sind → Brückenzünder ohne eingebaute Verzögerungssätze. Sie sprechen auf ausreichenden Zündstrom innerhalb weniger Millisekunden an.

Für seismische Zwecke (→ seismische Sprengstoffe) wurden Momentzünder entwickelt, die innerhalb einer Millisekunde oder weniger bei ausreichendem Zündstrom ansprechen.

Sprengniete

Im Flugzeugbau war es in Fällen, wo es an geeigneter Gegenhaltung und damit der Möglichkeit zum Vernieten durch Schlag fehlte, erwünscht, zum Nieten die Verformung mittels Sprengstoffen anzuwenden.

Beim Sprengniet ist der Nietschaft hohl ausgebildet und innen mit einem zündsatzähnlichen Sprengstoff gefüllt; durch Erwärmen vom

Nietkopf her explodiert dieser Satz und weitet den Niethals flaschenförmig auf.

Sprengöl

Mit Sprengöl bezeichnet man flüssige Salpetersäureester, wie Nitroglycerin (Glycerintrinitrat), Nitroglykol (Ethylenglykoldinitrat), Diglykoldinitrat, Dinitrochlorhydrin, Tetranitrodiglycerin oder Gemische dieser Stoffe.

Sprengpulver

„A"-black blasting powder; poudre noire au nitrate de potasse

ist eine Handelsbezeichnung für Schwarzpulver in Deutschland. Es wird mit folgender Zusammensetzung hergestellt:

Sprengpulver I:	75 % Kalisalpeter 10 % Schwefel 15 % Holzkohle
Sprengpulver II:	70 % Kalisalpeter 12 % Schwefel 18 % Holzkohle
Sprengpulver III:	60 % Kalisalpeter 16 % Schwefel 24 % Holzkohle

Ihre Umsetzung erfolgt, im Gegensatz zu den brisanten Gesteinssprengstoffen, nicht detonativ, sondern in Form einer schnellen Verbrennung. Sie können durch Schwarzpulveranzündschnüre initiiert werden*). Sie sind empfindlich gegen Schlag, Reibung, Funken und Feuchtigkeit. Für Sprengungen, bei denen das Gestein schonend behandelt werden muß – beispielsweise bei der Gewinnung von Dachschiefer und zur Gewinnung von Pflaster- und Werksteinen – sind sie geeignet.

Sprengsalpeter

„B"-black blasting powder; poudre noire au nitrate de soude

ist ein schwarzpulverähnliches Gemisch, das anstelle von Kalisalpeter Natronsalpeter enthält. Sprengsalpeter wird in Form von zylindrischen Preßlingen, → „Kunkeln", mit 25 und 30 mm ⌀ und einer zentralen Bohrung von 5 mm ⌀ geliefert und verwendet.

*) Diese Zündungsart wurde inzwischen verboten.

Sprengschlamm

Slurries; bouillies; Gelsprengstoffe

Sprengschlamm ist die in der Bundesrepublik eingeführte Bezeichnung für Gelsprengstoffe (Slurries). Sie bestehen aus hochkonzentrierten wässerigen Lösungen von Ammonsalpeter und anderen Nitraten, in denen über die Löslichkeit hinaus weitere Nitratmengen aufgeschlämmt sind, und aus Brennstoffen zur Aufnahme des Sauerstoffüberschusses der Nitrate; die Gelstruktur der Nitratlösung kann durch Andickungsmittel (z. B. Guarmehl, siehe dort) und zusätzlich durch Quervernetzungsmittel wesentlich beeinflußt werden.

Gelsprengstoffe können sensibilisierende Zusätze, wie z. B. Nitrate organischer Amine, Explosivstoffe wie TNT, Nitropenta, Hexogen u. a. enthalten; auch durch feinstverteilte Luft kann eine Sensibilisierung erzielt werden. Sensibilisierte Slurries erreichen die Kapselempfindlichkeit und detonieren auch in kleineren Durchmessern. Der wichtigste Brennstoff ist Aluminiumpulver; auch wasserlösliche Brennstoffe, wie z. B. Glykol, können Verwendung finden.

Durch Zusätze, welche die Detonationstemperatur herabsetzen (→ „Wettersprengstoffe“) können auch Gelsprengstoffe zu einem gewissen Grad an Wettersicherheit gebracht werden.

Sensibilisierte Sprengschlämme können in Großbohrloch- und in Normal-Durchmessern patroniert zur Anwendung gelangen. Außerdem aber werden Sprengschlämme in Bohrlöcher gepumpt. Durch zeitlich gesteuerte Quervernetzung kann erreicht werden, daß ursprünglich dünne flüssige Schlämme im Bohrloch verdicken und anstehendes Wasser verdrängen, ohne weiteres Wasser in die Sprengstoffmischung eintreten zu lassen. Das Einbringen in die Bohrlöcher erfolgt durch fahrbare Geräte mit Pump- und Mischeinrichtungen; der Sprengstoff kann mit dem Gerät in seiner Leistung dem Sprengziel angepaßt und in seiner Viskositäts-Zeit-Kurve durch Dosierung der quervernetzenden Zuschläge beeinflußt werden.

Ein wesentlicher Fortschritt wurde durch die Entwicklung von → Emulsions-Slurries erzielt, bei denen die wäßrige Phase in Öl emulgiert wird.

Sprengschnur

detonating fuse; cordeau détonant; primacord

Sprengschnüre enthalten unter Umspinnungen aus Hanf oder Jute und Umspritzungen aus Kunststoff eine Seele aus → Nitropenta. Die Schnur wird mit einer Sprengkapsel initiiert und detoniert mit etwa 7000 m/s; Spezialschnüre können auch Hexogen anstelle Nitropenta enthalten. Sprengschnüre dienen zum Zünden von Sprengungen; die

Initiierfähigkeit der Schnur reicht zum Zünden einer Patrone mit Sicherheit aus, wenn sie anliegt. Zum Zünden mehrerer Sprengungen werden von der „Leitschnur“ Verzweigungen abgeleitet. Beim → Großbohrlochsprengen und bei → Kammerminen ist die Zündung mittels Sprengschnur behördlich vorgeschrieben. Sprengschnüre mit stärkerer Ladung (40 und 100 g/m) dienen zur Zündung von → PAC-Sprengstoffen und als Sprengmittel für das → „Schonende Sprengen“.

Sprengstoffgesetzgebung

Explosivstoffe bedürfen des Konformitätsnachweises (CE-Zeichen), pyrotechnische Gegenstände, sonstige explosionsgefährliche Stoffe der Stoffgruppe A und Sprengzubehör bedürfen der Zulassung; wer mit explosionsgefährlichen Stoffen umgeht, muß Befähigung nachweisen.

Das frühere Reichsgesetz gegen den verbrecherischen und gemeingefährlichen Gebrauch von Sprengstoffen von 1884 wurde Durch das Anfang 1970 in Kraft getretenne und mehrfach novellierte Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe (SprengG) abgelöst. Das SprengG definiert – im Gegensatz zum alten Reichsgesetz – die Eigenschaft „explosionsgefährlich“ durch vorgeschriebene Prüfmethoden und beinhaltet in der Anlage III die Liste der Explosivstoffe.

Näheres zum Gesetz: Apel-Keusgen: Sprengstoffgesetz, Carl Heymanns Verlag, Köln.“

Sprengstoffladegeräte; Mischladegeräte

Es gibt:
pneumatische Ladegeräte: wenn der infolge seiner Prillstruktur freirieselnde → PAC-(ANFO-)Sprengstoff nicht durch Schüttung in die Bohrlöcher geladen werden kann (horizontale bzw. schwach steigende oder fallende Bohrlöcher auch geringerer Durchmesser), kann er mittels Blasgerät eingebracht werden. Hierbei wird entweder der einzublasende Stoff in ein Druckgefäß geladen und mit etwa 4 bar Luftdruck belastet; ein vom zu ladenden Bohrloch her steuerbares Ventil am tiefsten Punkt des Geräts führt zu einem langen Schlauch, durch den bei Ventilöffnung ein Stoff-Luft-Gemisch gefördert und in das Bohrloch geladen wird. Andere, tragbare Geräte arbeiten nach dem Injektorprinzip.

Es gibt ferner Mischladegeräte, in denen die nicht als Sprengstoff geltenden Ammonsalpeter-Prills und die zur Beimischung bestimmte Dieselöl-Fraktion getrennt gelagert und kontinuierlich gekoppelt mit dem Einblasevorgang gemischt werden. Pumpfähige → Spreng-

schlämme werden mit „Slurry-Pumpen“ in die Bohrlöcher eingepumpt. Zum Laden von patroniertem Sprengstoff mittlerer Empfindlichkeit können die Patronen mittels Druckluft mit „Ladepistolen“ in die Bohrlöcher „eingeschossen“ werden.

Stabilisatoren

stabilizer; stabilisateurs

sind allgemein Verbindungen, die, anderen chemischen Körpern oder Gemischen in geringen Anteilen zugesetzt, letzteren eine größere chemische Stabilität verleihen.

Für nitrocellulosehaltige Treibmittel sollen die Stabilisatoren, vermöge ihres chemischen Aufbaus, den durch Säureabspaltung beschleunigten Zerfall der Salpetersäureester verhindern. Ihre Wirkung beruht darauf, daß sie freie Säure und nitrose Gase binden und dabei selbst in relativ stabile Verbindungen übergehen, ohne Nitrocellulose resp. Nitroglycerin chemisch anzugreifen (zu „verseifen“). Meist werden Substitutionsprodukte des Harnstoffs und Diphenylamin benutzt. Die Stoffe müssen sich gleichmäßig in die Pulvermasse einbringen lassen, nicht flüchtig und nicht wasserlöslich sein. Viele Stabilisatoren wirken bei der Fabrikation der Pulver gleichzeitig als Gelatinatoren (Weichmacher).

Reine Stabilisatoren sind Diphenylamin und → Akardit I.

Stabilisatoren und gleichzeitig Gelatinatoren sind:
Centralit I: Symm. Diethyldiphenylharnstoff
Centralit II: Symm. Dimethyldiphenylharnstoff
Centralit III: Methylethyldiphenylharnstoff
Akardit II: Methyldiphenylharnstoff
Akardit III: Ethyldiphenylharnstoff
Ethyl- und Methylphenylurethan
Diphenylurethan

Reine Gelatinatoren ohne wesentliche stabilisierende Eigenschaften, sind Dibutylphthalat, Diamylphthalat und Campher.

Stabilität

stability; stabilité

Man unterscheidet zwischen chemischer und physikalischer Stabilität. Während die physikalische Stabilität insbesondere für die Beurteilung der Festtreibstoffe wichtig ist, ist die chemische Stabilität für die Beurteilung der Abbauvorgänge von Salpetersäureestern von vorrangiger Bedeutung. Die für Treibmittel zur Verarbeitung gelangenden Salpetersäureester unterliegen, in Abweichung von den diesbezüglich

verhältnismäßig stabilen Nitrokörpern, einem ständigen, durch ungenügende Reinigung der Ausgangsstoffe geförderten und im übrigen durch äußere Bedingungen wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit beeinflußten Abbau. Dieser Abbau wird durch die sauren Abspaltungsprodukte autokatalytisch beschleunigt; er kann unter diesen Umständen schließlich bis zur Selbstentzündung führen. Um diese Zersetzung soweit als möglich zu verlangsamen bzw. zu verzögern, werden den Pulvern geeignete Stabilisatoren zugesetzt, welche die sauren Abspaltungsprodukte unter Bildung entsprechender Nitro-Verbindungen aufzunehmen vermögen. Man verwendet hierzu im wesentlichen Diphenylamin, 2-Nitrodiphenylamin, Centralite und Akardite. Zur Prüfung auf die Stabilität werden verschiedene Teste angewandt (→ Warmlagerteste).

Man unterscheidet zwischen kurzdauernden Prüftesten, welche durch erheblichere Temperaturerhöhung die möglichen Zersetzungsreaktionen beschleunigen, und sogenannten Lebensdauer-Testen („surveillance-Testen"), die mehrere Monate bis über ein Jahr ausgedehnt werden. Für eine sichere Beurteilung der Stabilität reichen die kurzdauernden Prüfteste allein nicht, zumindest gilt das für noch nicht näher bekannte Produkte.

Stirnabbrand

face burning; combustion en cigarette

(„Zigarettenabbrand") bezeichnet in der Raketentechnik eine Treibsatzanordnung, bei der sich der Abbrand auf den Brennkammerquerschnitt beschränkt. Man erreicht dies durch Abdecken aller sonstigen Oberflächen mit einer nichtbrennenden Schicht. In derartigen Raketen können lange Brennzeiten (10 Minuten und mehr) mit nahezu konstanten Schüben erzielt werden.

Stoppinen

Stoppinen dienen zur Weiterleitung der Anzündung an Feuerwerkssätze.

Sie bestehen aus 2–16 gedrillten Baumwollfäden, die mit Schwarzpulver imprägniert und getrocknet werden. Man tränkt sie zuerst mit einer alkoholisch-wäßrigen Schwarzpulveraufschlämmung, zieht sie dann durch einen Pulverbrei und kalibriert sie mit Durchziehdüsen. Die Imprägniermassen enthalten Colophonium und Gummi Arabicum als Bindemittel. Nach dem Trocknen werden die Stoppinen in Stücke geschnitten; für Großfeuerwerk werden sie auch in paraffinierte Papierröhrchen eingezogen und an beiden Enden abgebunden; zur Sicherheit werden dann zwei Stoppinen eingeschlaucht.

Die Brennzeit der Stoppinen wird auf 30 bis 100 s/m eingestellt, für eingeschlauchte (gedeckte) Stoppinen auf maximal 40 m/s, da die Anzündflamme (besonders an Abzweig- und Kupplungsstellen) sonst nicht sicher übertragen wird.

Stoßwelle

shock wave; onde de choc

→ Detonation.

Streustromsicherheit

stray current protection; protection contre les courants vagabonds

Die zunehmende Elektrifizierung hat auch das Auftreten von Streuströmen anwachsen lassen. Als Streustromsicherheit eines elektrischen Zünders bezeichnet man diejenige Stromstärke, bei welcher der Glühdraht die Entzündungstemperatur des Zündsatzes in der Zündpille nicht erreicht. Zur Erhöhung der Streustromsicherheit sind die bisherigen Brückenzünder „A“ durch die unempfindlicheren „U“ ersetzt worden, → Brückenzünder.

Strontiumnitrat

strontium nitrate; nitrate de strontium

$Sr(NO_3)_2$

Bildungswärme: –968,3 kJ/Mol
Bildungsenthalpie: –4622 kJ/kg
Dichte: 2,99 g/cm^3
Schmelzpunkt: 570 °C
Mol.-Gew.: 211,7
Sauerstoffwert: +37,8 %
Stickstoffgehalt: 13,23 %

Strontiumnitrat dient in der Feuerwerkerei und für → Leuchtsätze als flammfärbender Sauerstoffträger für Rotfeuer. Strontiumnitrat wird als Oxidationsmittel in Gasgeneratoren verwendet, z. B. für Airbags.

Supercord 40 und Supercord 100

sind die Handelsnamen von → Sprengschnüren, die 40 bzw. 100 g → Nitropenta pro Meter enthalten; sie werden von der Orica, Troisdorf, hergestellt und vertrieben.

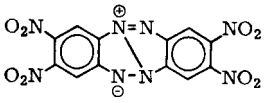
Kennzeichnende Farbe: rot.

Solche Sprengschnüre werden zur sicheren Initiierung von → ANC-Sprengstoffen eingesetzt, werden aber auch als selbständige Sprengmittel verwendet, insbesondere für → Schonendes Sprengen.

Tacot

tetranitrodibenzo tetraza pentalene;
tétranitrodibenzo-tétraza-pentalène

Kurzbezeichnung für Tetranitrobenzo-1,3 a, 4,6 a-tetrazapentalen (DuPont).



rot-orange-farbene Kristalle
Bruttoformel: $C_{12}H_4N_8O_8$
Mol.-Gew.: 388,1
Sauerstoffwert: –74,2
Stickstoffgehalt: 28,87 %
F. (Zersetzung): 378 °C
Dichte: 1,85 g/cm^3
Detonationsgeschwindigkeit: 7250 m/s bei
ϱ = 1,64 g/cm^3
Schlagempfindlichkeit: 7 kp m = 69 Nm

(Angaben aus dem Prospektblatt von DuPont, → auch DAS 1 164 900). Der Stoff wird durch direktes Nitrieren von Dibenzo-1,3 a,4,6 a-tetrazapentalen in schwefelsaurer Lösung gewonnen.

Tacot ist unlöslich in Wasser und den meisten organischen Lösemitteln, selbst in Aceton ist es nur zu 0,01 % löslich. Löslich in 95 %iger Salpetersäure, etwas löslich in Nitrobenzol und Dimenthylformamid. Mit Stahl und Buntmetallen: keine Reaktion.

Der Sprengstoff ist interessant wegen seiner extremen Warmlager-Stabilität; er bleibt funktionsfähig

nach 10 Minuten bei 350 °C
nach 4 Stunden bei 325 °C
nach 10 Stunden bei 315 °C
nach 2 Wochen bei 280 °C
nach 4 Wochen bei 275 °C

Taliani-Test

Dieser Test stellt eine Verbesserung der von Obermüller im Jahre 1904 ausgearbeiteten manometrischen Prüfmethode dar. Die Methode wurde später von *Goujon und in neuester Zeit von Brisseaud* erheblich verbessert. Bei allen Ausführungen wird das die Probe enthaltende und auf die gewünschte Temperatur gebrachte Prüfrohr evakuiert und der durch die gasförmigen Zersetzungsprodukte bedingte Druckanstieg an einem Hg-Manometer gemessen. Die Durchführung wird im allgemeinen bei Erreichen eines Druckes von 100 mm Hg beendet. Als Prüftemperaturen werden verwendet:

für Nitrocellulose 135 °C
für Treibmittel 110 °C

Da in das Ergebnis außer den gasförmigen Zersetzungsprodukten auch sämtliche bei der Erhitzung gleichfalls einen Druckanstieg verursachenden Komponenten, wie Wasser und Lösemittel, mit eingehen würden, muß die entsprechende Probe vor der Prüfung einer intensiven Trocknung unterzogen werden. Da das Ergebnis auch durch den Ngl-Gehalt eines Treibmittels beeinflußt wird, können mittels dieser Prüfung nur jeweils hinsichtlich ihrer Zusammensetzung gleichartige Treibmittel verglichen werden. Dieser Umstand macht den Einsatz des Taliani-Testes für Treibmittel ebenso problematisch wie die hohe Prüftemperatur. Ebenso nachteilig ist die Notwendigkeit der intensiven Trocknung, derzufolge das zu prüfende Treibmittel in unerwünschter Weise verändert wird, womit die Gefahr der Vortäuschung günstigerer Stabilitätswerte besteht. Für die Prüfung von NC bestehen die letztgenannten Bedenken nicht.

Tetramethylammoniumnitrat

tetramethylammonium nitrate; nitrate de tétraméthylammonium

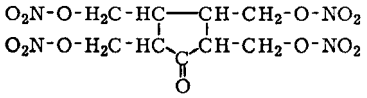
$(CH_3)_4N\ NO_3$

Bruttoformel: $C_{14}H_{12}N_2O_3$
Mol.-Gew.: 136,2
Sauerstoffwert: –1129,3 %
Stickstoffgehalt: 20,57 %
Bildungsenergie: –569,7 kcal/kg = –2385,3 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –607,4 kcal/kg = –2540,0 kJ/kg

Während des zweiten Weltkrieges diente diese Verbindung als Kohlenstoffträger in schmelzbaren Ammonsalpetermischungen, welche homogen in die Schmelze einging (→ Ammonite).

Tetramethylolcyclopentanontetranitrat

tetramethylolcyclopentanone tetranitrate;
tétranitrate de tétraméthylolpentanone; Nitropentanon; Fivonite



Bruttoformel: $C_9H_{12}N_4O_{13}$
Mol.-Gew.: 384
Bildungsenergie: –398,3 kcal/kg = –1667,4 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –420,6 kcal/kg = –1761,0 kJ/kg
Sauerstoffwert: –45,8 %
Stickstoffgehalt: 14,59 %
Normalgasvolumen: 993 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 966 kcal/kg = 4044 kJ/kg
(H_2O gas): 905 kcal/kg = 3789 kJ/kg
Spezif. Energie: 113,2 mt/kg = 1111 kJ/kg
F.: 74 °C
Dichte: 1,59 g/cm^3
Bleiblockausbauchung: 387 cm^3
Detonationsgeschwindigkeit: 7940 m/s bei
ϱ = 1,55 g/cm^3

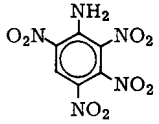
Durch Kondensation von Formaldehyd und Cyclopentanon erhält man eine Verbindung mit vier – CH_2OH-Gruppen, die zum Tetranitrat nitriert werden kann. Analog herstellbare Verbindungen leiten sich von Hexanon, Hexanol und Pentanol ab. („Sixonite“, „Sixolite“, „Fivolite“):

Tetramethylolcyclohexanontetranitrat, Sixonite, $C_{10}H_{14}N_4O_{13}$
Tetrametyhlolcyclohexanolpentanitrat, Sixolite, $C_{10}H_{15}N_5O_{15}$
Tetramethylolcyclopentanolpentanitrat, Fivolite, $C_9H_{13}N_5O_{15}$

	Mol.-Gew.	Sauerstoffwert %	Bildungsenergie kcal/kg	kJ/kg	Bildungsenthalpie kcal/kg	kJ/kg
Sixonite	398,2	–56,3	–402	–1682	–452	–1778
Sixolite	445,3	–44,9	–334	–1397	–357	–1494
Fivolite	431,2	–35,3	–352	–1360	–348	–1456

2,3,4,6-Tetranitroanilin

tetranitroaniline; tétranitroanilin; TNA



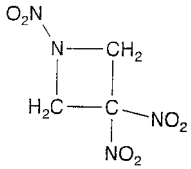
hellgelbe Kristalle
Bruttoformel: $C_6H_3N_5O_8$
Mol.-Gew.: 273,1
Bildungsenergie: –25,5 kcal/kg = 106,7 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –42,8 kcal/kg = –179,4 kJ/kg
Sauerstoffwert: –32,2 %
Stickstoffgehalt: 25,65 %
Normalgasvolumen: 830 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1046 kcal/kg = 4379 kJ/kg
(H_2O gas): 1023 kcal/kg = 4282 kJ/kg
Spezif. Energie: 122,7 mt/kg = 1203 kJ/kg
Dichte: 1,867 g/cm^3
F. (Zersetzung): 216–217 °C
Bleiblockausbauchung: 400 cm^3
Verpuffungspunkt: 220–230 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,6 kp m = 6 Nm

Tetranitroanilin ist unlöslich in Wasser, löslich in heißem Eisessig und in heißem Aceton, wenig löslich in Alkohol, Benzol, Ligroin und Chloroform.

Tetranitroanilin kann durch Nitrieren von m-Nitroanilin oder von Anilin mit einem Gemisch von Schwefelsäure und Salpetersäure in mäßiger Ausbeute hergestellt werden.

1, 3, 3-Trinitroazetidin

trinitroazetidin, TNAZ



Bruttoformel: $C_3H_4N_4O_6$
Mol.-Gew.: 192,09
Bildungsenergie: +66,84 kcal/kg = +279,77 kJ/kg

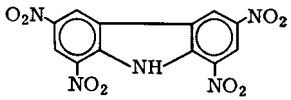
Bildungsenthalpie: +45,29 kcal/kg = +189,50 kJ/kg
Sauerstoffwert: –16,66 %
Stickstoffgehalt: 29,2 %
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1516 kcal/kg = 6343 kJ/kg
(H_2O gas): 1440 kcal/kg = 6024 kJ/kg
Spezif. Energie: 140,5 mt/kg = 1378 kJ/kg
Dichte: 1,84 g/cm^3
F.: 101 °C

Für das Trinitroazetidin werden mehrere Syntheserouten beschrieben, z. B. aus Epichlorhydrin und tert. Butylamin zum 1-tert.-Butylazetidin und anschließender, stufenweisen Nitrierung zum TNAZ.

Trinitroazetidin ist mit seinen Leistungsdaten als Explosivstoff zwischen → Hexogen und → Oktogen angesiedelt, aber wesentlich unempfindlicher und deshalb für → LOVA-Anwendungen interessant.

Tetranitrocarbazol

tetranitrocarbazol; tétranitrocarbazol; TNC



gelbe Kristalle
Bruttoformel: $C_{12}H_5N_5O_8$
Mol.-Gew.: 347,2
Bildungsenergie: +28,3 kcal/kg = +118,5 kJ/kg
Bildungsenthalpie: +13,0 kcal/kg = +54,3 kJ/kg
F.: 285 °C
Sauerstoffwert: –85,2 %
Stickstoffgehalt: 20,17 %

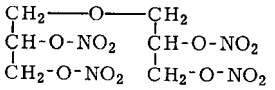
Unlöslich in Wasser, Ether, Alkohol, Tetrachlorkohlenstoff, leicht löslich in Nitrobenzol. Es ist nicht hygroskopisch.

Man erhält Tetranitrocarbazol durch Nitrieren von Carbazol, wobei man dieses zweckmäßig durch Behandlung mit Schwefelsäure bis zur vollständigen Wasserlöslichkeit sulfuriert und die entstandene Sulfosäure, ohne sie zu isolieren, durch Zusatz von Mischsäure in die Nitroverbindung umwandelt.

Tetranitrocarbazol hat als Sprengstoff keine Bedeutung; interessant ist jedoch sein rotgefärbtes Kaliumsalz, das als Zündsatz bzw. als Zwischensatz für die Herstellung von Leuchtsätzen Verwendung gefunden hat. Man erhält es durch Umsatz von Tetranitrocarbazol mit wässeriger Kalilauge.

Tetranitrodiglycerin

diglycerol tetranitrate; tétranitrate de diglycérine; Diglycerintetranitrat



wasserhelles Öl
Bruttoformel: $C_6H_{10}N_4O_{13}$
Mol.-Gew: 346,2
Sauerstoffwert: –18,5 %
Stickstoffgehalt: 16,18 %
Dichte: 1,52 g/cm^3
Bleiblockausbauchung: 470 cm^3
Schlagempfindlichkeit: 0,15 kp m = 1,5 Nm

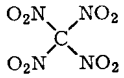
Das reine Tetranitrodiglycerin ist ein sehr dickflüssiges, wasserhelles Öl, nicht hygroskopisch, unlöslich in Wasser, leicht löslich in Alkohol und Ether. Es hat eine geringere Sprengkraft als Nitroglycerin, ist weniger schlagempfindlich und gelatiniert Nitrocellulose schlechter als dieses.

Bei längerem Erhitzen von Glycerin bildet sich neben wenig anderen Polyglycerinen Diglycerin. Nitriert man solche Gemische von Glycerin und Diglycerin, so erhält man Gemische von Nitroglycerin und Tetranitrodiglycerin, die einen tieferen Erstarrungspunkt haben als das reine Nitroglycerin.

Tetranitrodiglycerin fand bei der Herstellung nicht gefrierbarer Dynamite Anwendung, bevor das Glykol über technische Großsynthesen zugänglich war.

Tetranitromethan

tetranitromethane; tétranitrométhane; TNM



farblose Flüssigkeit
von durchdringendem Geruch
Bruttoformel: CN_4O_8
Mol.-Gew.: 196,0
Sauerstoffwert: +49 %
Bildungsenergie: +63,0 kcal/kg = +263,8 kJ/kg
Bildungsenthalpie: +44,9 kcal/kg = +187,9 kJ/kg
Normalgasvolumen: 686 l/kg

Explosionswärme: (H_2O gas): 524 kcal/kg*) = 2193 kJ/kg
Spezif. Energie: 68,9 mt/kg = 675 kJ/kg
Dichte: 1,65 g/cm^3
F.: +14,2 °C
Siedepunkt: 126 °C

Dampfdruck:

Millibar	Temperatur °C
12	20
57	50
420	100
1010	126

Verpuffung: bei 140 °C Zersetzung
Detonationsgeschwindigkeit: 6360 m/s bei
ϱ = 1,65 g/cm^3
Kp.: 126 °C
Schlagempfindlichkeit: 2 kp m = 19Nm

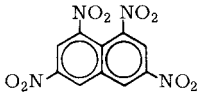
Tetranitromethan ist in Wasser nicht löslich, wohl aber in Alkohol und Ether. Die leichtflüchtige Verbindung ist ein starkes Lungengift. Für sich allein ist das sauerstoffreiche Derivat nur wenig explosiv, doch bildet es mit Kohlenwasserstoffen (z. B. Toluol) Gemische von höchster Brisanz.

Bei der Nitrierung von aromatischen Kohlenwasserstoffen mit hochkonzentrierten Säuren bei hoher Temperatur entsteht das Tetranitromethan als Nebenprodukt durch Ringspaltung. Es kann auch durch Einwirkung von Salpetersäure auf Acetylen bei Anwesenheit von Quecksilbernitrat als Katalysator dargestellt werden. Nach einer neueren Methode wird Tetranitromethan erhalten, wenn man einen langsamen Strom von Keten in 100 %ige gekühlte Salpetersäure einleitet. Beim Eingießen des Reaktionsgemisches in Eiswasser wird Tetranitromethan abgeschieden. Mischungen aus Tetranitromethan und organischen Treibstoffen sind äußerst empfindlich gegen Schlag und Reibung.

*) Geringe Verunreinigungen erhöhen den experimentell ermittelten Wert leicht über 1000 kcal/kg.

Tetranitronaphthalin

tetranitronaphthalene; tétranitronaphtalène



und weitere Isomere

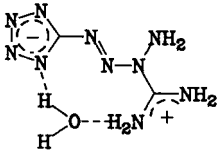
bräunliche Kristalle
Bruttoformel: $C_{10}H_4N_4O_8$
Mol.-Gew.: 308,2
Bildungsenergie: +20,6 kcal/kg = +86,1 kJ/kg
Bildungsenthalpie: +5,2 kcal/kg = +21,7 kJ/kg
Sauerstoffwert: –72,7 %
Stickstoffgehalt: 18,18 %
F. (Isomerengemisch): erweicht ab 190 °C

Tetranitronaphthalin ist ein Isomerengemisch, das durch Weiternitrierung der Dinitronaphthaline entsteht.

Die Tetrastufe ist nur schwierig zu erreichen. Das Rohprodukt ist unrein und unregelmäßig in seinem Aussehen. Es läßt sich mittels Eisessig reinigen.

Tetrazen

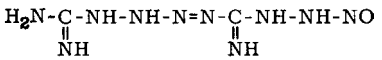
tetrazene; tétrazène; Tetrazolyl-guanyl-Tetrazen-Hydrat)*



flaumige, farblose bis schwachgelbe Kristalle
Bruttoformel: $C_2H_8N_{10}O$
Mol.-Gew.: 188,2
Bildungsenergie: +270,1 kcal/kg = +1131,0 kJ/kg
Bildungsenthalpie: +240,2 kcal/kg = +1005,8 kJ/kg
Sauerstoffwert: –59,5 %
Stickstoffgehalt: 74,43 %

---

*) die bisher in der Literatur aufgeführte Strukturformel:



wurde 1954 durch *Patinkin* richtiggestellt (Chem. Zentralblatt *1955*, S. 8377)

Dichte: 1,7 g/cm^3
Bleiblockausbauchung: 155 cm^3/10 g
Verpuffungspunkt: ca. 140 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,1 kp m = 1 Nm

Tetrazen wird der Gruppe „Initialsprengstoffe“ zugeordnet. Die eigene Initiierwirkung ist jedoch gering.

Tetrazen ist praktisch unlöslich in Wasser, Alkohol, Ether, Benzol und Tetrachlorkohlenstoff.

Tetrazen wird durch Umsetzung wäßriger Lösungen von Aminoguanidinsalzen und Natriumnitrit hergestellt.

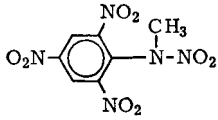
Tetrazen ist ein wirkungsvoller, rückstandslos zerfallender Zündstoff, er dient bei erosionsfreien Zündsätzen auf Basis von Bleitrinitroresorcinat als Zusatz, um die Ansprechempfindlichkeit zu erhöhen. Seine Schlag- und Reibungsempfindlichkeit sind etwa gleich der von Knallquecksilber. Auch Zündsätze für Sprengnieten enthalten Tetrazen.

Technische Reinheitsforderungen

Feuchtigkeit: nicht über	0,3 %
Reaktion des wäßrigen Auszugs mit Universalindikatorpapier:	keine Säureanzeige
mechanische Verunreinigungen:	keine
Schüttdichte: etwa	0,3 g/cm^3
Verpuffungspunkt: nicht unter	138 °C

Tetryl

tetryl; tétryl; trinitro-2,4,6 phényl-méthyl-nitramine; Trinitrophenylmethylnitramin; Tetranitromethylanilin; Pyronite; Tetra; Tetralit; Tetralita; CE



feines, gelbliches Pulver
Bruttoformel: $C_7H_5N_5O_8$
Mol.-Gew.: 287,2
Bildungsenergie: +40,4 kcal/kg = +169,3 kJ/kg
Bildungsenthalpie: +21,9 kcal/kg = +91,6 kJ/kg
Sauerstoffwert: –47,4 %
Stickstoffgehalt: 24,39 %
Normalgasvolumen: 939 l/kg

Explosionswärme
(H_2O fl.): 1015 kcal/kg = 4251 kJ/kg
(H_2O gas): 992 kcal/kg = 4153 kJ/kg
Spezif. Energie: 123,7 mt/kg = 1213 kJ/kg
Dichte: 1,73 g/cm^3
F. (technisches Produkt 128,5 °C): 131 °C (Zersetzung)
Schmelzwärme: 22,2 kcal/kg = 93,0 kJ/kg
Bleiblockausbauchung: 410 cm^3
Detonationsgeschwindigkeit: 7850 m/s bei
ϱ = 1,71 g/cm^3
Verpuffungspunkt: 185–195 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,3 kp m = 3 Nm
Reibempfindlichkeit: bei 36 kp = 353 N Stiftbelastung
Reaktion
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest: 6 mm

Tetryl ist giftig, in Wasser fast unlöslich, schwer löslich in Alkohol, Ether, leichter in Benzol und noch besser in Aceton.

Es wird durch Lösen von Mono- und Dimethylanilin in Schwefelsäure und Eintragen der Lösung unter Kühlung in Salpetersäure gewonnen.

Tetryl ist ein sehr brisanter und kräftiger Sprengstoff von gutem Initiiervermögen, der zur Herstellung von Zündladungen und als Sekundärladung für Sprengkapseln gebraucht wird. Infolge seines verhältnismäßig hohen Schmelzpunktes wird es nicht in gegossenem, sondern in gepreßtem Zustand verwendet. Zusammen mit Trinitrotoluol diente es als Füllung für Granaten und Torpedoköpfe.

Technische Reinheitsforderungen

Schmelzpunkt	mindestens	128,5 °C
Flüchtige Bestandteile einschl. Feuchte	höchstens	0,10 %
Benzolunlösliches	höchstens	0,07 %
Aschegehalt	höchstens	0,03 %
Acidität (als HNO_3)	höchstens	0,005 %
Alkalität	frei	

Tetrytol

Schlagempfindlichkeit: 0,5 kp m = 5 Nm
Reibempfindlichkeit: bis 36 kp = 353 N
Stiftbelastung keine Reaktion

ist eine gießbare Mischung aus 70 % Tetryl und 30 % TNT.

Thermische Sensibilität

heat sensibility; sensibilité à la chauffage externe

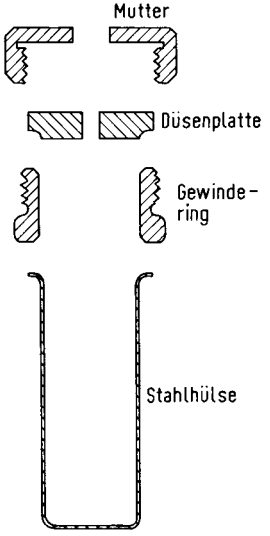
Die thermische Sensibilität wird festgestellt durch die Prüfung der Entzündbarkeit der Explosivstoffe durch glühende Körper, Flammen oder Funken, insbesondere durch Cereisenfunken, den Zündstrahl einer Schwarzpulveranzündschnur, einen glühenden Eisenstab oder eine Flamme.

In der Eisenbahnverkehrsordnung ist ferner eine Methode beschrieben, bei der eine Probe von ca. 500 g Sprengstoff in einem Blechkästchen bestimmter Abmessung einem Holzfeuer ausgesetzt und das Verhalten dabei (Abbrand, heftige Zersetzung oder Zerknall) beobachtet wird.

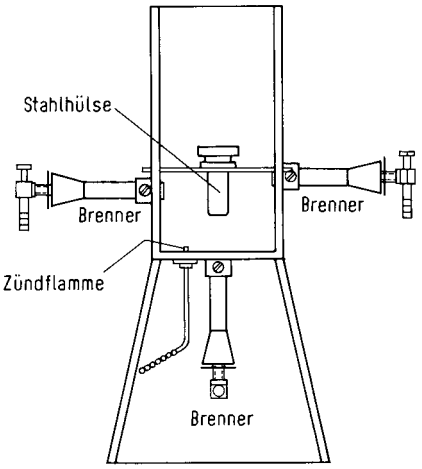
Diese für die Beurteilung der Transportsicherheit wichtigen Prüfungen wurden von der BAM in Gestalt des „Stahlhülsenverfahrens“ vervollkommnet.

Prüfverfahren

Die Substanz wird in einer zylindrischen nahtlos gezogenen Stahlhülse 25 ∅×*24* ∅×75 mm bis zu einer Höhe von 60 mm eingefüllt und die Hülse mit einer Düsenplatte verschlossen, die eine kreisrunde



Die Teile der Stahlhülse



Stahlhülse im Brennerkasten

Abb. 16. Stahlhülsentest

zentrale Bohrung von bestimmtem Durchmesser hat. Diese Düsenöffnung kann von 1–20 mm ⌀ variiert werden; hinzukommt die Öffnung von 24 mm ⌀, die gegeben ist, wenn die Hülse ohne Düsenplatte verwendet wird. Die versuchsfertige Hülse wird in einem Schutzkasten durch vier Brenner gleichzeitig erhitzt und die Zeit bis zur beginnenden Verbrennung und die Verbrennungszeit selbst abgestoppt. Weiterhin wird durch Variierung des Düsendurchmessers der Grenzdurchmesser festgestellt, bei dem die Druckstauung beim Abbrand in der Stahlhülse zur Explosion führt. Als Explosion gilt die Zerlegung der Hülse in einige grobe (mindestens drei) oder viele kleine Splitter.

Auf diese Weise werden reproduzierbare Zahlenangaben erhalten, die eine sichere Einstufung der explosionsfähigen Stoffe nach ihrer Gefährlichkeit ermöglichen.

Thermische Sensibilität explosionsfähiger Stoffe beim Erhitzen unter Einschluß, ermittelt in Stahlhülsen mit einer definierten Öffnung (Stahlhülsenverfahren der BAM)*

Angegeben ist der größte Durchmesser der kreisrunden Öffnung in mm („Grenzdurchmesser"), bei dem unter drei Versuchen mindestens einmal Explosion eintritt.

Stoff	„Grenzdurchmesser" mm	Zeit bis zur beginnenden Verbrennung t_1 s	Verbrennungszeit t_2 s
A. *Einheitliche Sprengstoffe*			
Nitroglycerin	24	13	0
Nitroglykol	24	12	10
Nitrocellulose 13,4 % N	20	3	0
Nitrocellulose 12,0 % N	16	3	0
Hexogen	8	8	5
Ammoniumperchlorat	8	21	0
Nitropenta	6	7	0
Tetryl	6	12	4
Trinitrotoluol	5	52	29
Pikrinsäure	4	37	16

*) Beschreibung des Prüfverfahrens: Prüfung 1 (b) und 2 (b) der Empfehlungen für die Beförderung gefährlicher Güter; Handbuch über Prüfungen und Kriterien; Vereinte Nationen.

Dinitrotoluol	1	49	21
Ammoniumnitrat	1	43	29
B. *Sprengstoffmischungen*			
Sprenggelatine	24	8	0
Gurdynamit	24	13	0
Dynamit 1	20	7	0
Ammon-Gelit 1	14	10	0
Wetter-Wasagit B	14	12	0
Geosit 3	12	8	0
Seismogelit 2	10	25	0
Ammon-Gelit 3	3	9	0
Donarit 1	2,5	32	102
Wasamon	2	25	4
Ammonit 1	1,5	24	40
Wetter-Energit B	1	26	43
Wetter-Roburit B	1	28	69

Thermit

werden Mischungen aus Aluminium und Eisenoxid (25/75) genannt, die sich unter starker Wärmeentwicklung zu Aluminiumoxid und Eisen umsetzen. Es wird zum Schienenschweißen verwendet. Im zweiten Weltkrieg wurde es als Brandbombenfüllung eingesetzt (→ Koruskativa).

Thermoanalyse

thermic differential analysis; analyse thermique différentielle

bezeichnet Methoden, bei denen die zu prüfende Substanz bei ansteigender Erwärmung auf kalorisches Verhalten untersucht wird; dazu gehören die Thermogravimetrie („TG“) und die Differential-Thermo-Analyse („DTA“).

Die Thermogravimetrie registriert laufend die Gewichtsänderungen einer Probe, die sich in einem Ofen befindet, der mit einer gewünschten Geschwindigkeit aufgeheizt wird. Solche Gewichtsveränderungen können z. B. durch Abgabe von Feuchtigkeit oder Gasen bei Verbrennung oder chemischen Zersetzungsreaktionen eintreten. So kann die Thermowaage auch zur Untersuchung der thermischen Stabilität von Explosivstoffen dienen.

Die Thermowaage kann mit der Differential-Thermo-Analyse gekoppelt werden. Die DTA registriert geringe Temperaturdifferenzen, die während des Aufheizens zwischen der Probe und einer Vergleichsprobe auftreten. Es werden so alle physikalischen und chemischen

Prozesse, die mit einer zusätzlichen Wärmeaufnahme oder Wärmeabgabe der Substanz verbunden sind, aufgezeichnet. Beispiele für solche Prozesse sind Kristallgitterumwandlungen, Schmelzen, Verdampfen, chemische Reaktionen und Zersetzungen. Damit erlaubt die „DTA“ eine differenziertere Aussage über das Verhalten von Explosivstoffen bei ansteigendem Erhitzen, als mit der Bestimmung der → Verpuffungstemperatur erhalten wird.

Literatur:

Krien, Explosivstoffe **13**, 205 (1965).

Thermobare Sprengstoffe, TBX, Single-Event FAE

Typ der → FAE mit festem Brennstoff, meist Aluminium oder Magnesium. Da bei deren Reaktion nur feste Metalloxide entstehen, wird der Druckaufbau dieser Sprengstoffe in erster Linie durch Verbrennungswärme („thermobar“) und nicht durch expandierende Explosionsgase erzeugt.

Der Vorteil gegenüber den klassischen FAE liegt in der kürzeren Verzögerungszeit zwischen Verteilung der Brennstoffwolke und Zündung des Brennstoff-Luft-Gemisches. Es ist keine zweite Zündladung mehr notwendig, weshalb man auch von FAE der dritten Generation oder „Single-Event FAE“ spricht.

Der entstehende Spitzendruck ist zwar deutlich niedriger als bei einheitlichen brisanten Sprengstoffen wie z. B. → Hexogen, wirkt aber über 100-mal länger. Russland setzte schon in den 90er Jahren einen thermobaren Gefechtskopf bei der Panzerfaust RPG-7 (RPO-A) im Häuserkampf ein. Die auf amerikanischer Seite entwickelten thermobaren Gemische enthalten hochunempfindliche Sprengstoffe auf HMX-Aluminium-HTPB-Basis wie PBXIH-135 (auch SFAE – Solid Fuel Air Explosive genannt).

Moderne TBX-Ladungen sind weitgehend ungiftig, enthalten keinen brisanten Sprengstoff mehr, sind nicht massenexplosionsfähig und können nur durch einen starken Booster gezündet werden. Damit gehören sie zur Gefahrengutklasse 1.6 (IHE Insensitive High Explosive). So besteht etwa ein von A. Kappl 2006 bei Austin Powder für industrielle Anwendungen entwickelter TBX-Sprengstoff unter anderem aus einem Gemisch von IPN mit Magnesium. Die Explosionswärme liegt über 16.000 kJ/kg. Die Detonationsgeschwindigkeit beträgt im Einschluss 2920 m/s.

Thermodynamische Berechnung der Umsetzung von Explosivstoffen

Aus der chemischen Formel und der Bildungsenergie der Explosivstoffkomponenten (→ Arbeitsvermögen, Bildungswärme, Explosionswärme) lassen sich wesentliche Kennzahlen der Sprengstoffe und Treibmittel errechnen. Diese sind:

die Sauerstoffbilanz,
die Explosionswärme,
das Volumen der abgekühlten Schwaden (Normalgasvolumen, Normalvolumen, Schwadenvolumen),
die Explosionstemperatur,
die „spezifische Energie", d. h. die durch Gasbildung und -erwärmung erbringbare thermodynamische Arbeit.

Bei der Explosion eines dazu fähigen Stoffes (→ explosionsfähiger Stoff) oder Stoffgemisches geht das durch seine Zusammensetzung und seine Zustandsdaten (Druck p_1, Volumen V_1, Temperatur T_1) charakterisierte metastabile System „A" ohne Hinzutreten anderer damit reagierender Stoffe in den Explosionszustand „X" (Druck p_2, Volumen V_2, Temperatur T_2) unter Freiwerden der Explosionswärme und Entbindung überwiegend gasförmiger Explosionsprodukte über. A möge sich aus den Komponenten A_1, A_2, A_3 usw. in den entsprechenden Gewichtsprozenten a_1, a_2, a_3 usw. zusammensetzen. Bestehen die Komponenten – was meistens der Fall ist – nur aus den Atomen C, H, O und N, so können die Zerfallsprodukte: CO_2, CO, H_2O (gasförmig), N_2, H_2, O_2, NO und C (ausgeschiedener Kohlenstoff) gebildet werden.

Als ersten Rechenschritt stellt man die einem kg der explodierenden Mischung zugehörige Summenformel auf: Tabelle 18 gibt die Atomzahlen (und die Bildungsenergien und -enthalpien) pro kg für die meisten möglichen Explosivstoffkomponenten und deren Zusätze an. Danach kann man auf das kg bezogene Bruttoformeln aufstellen, z. B.

1 kg Nitroglycerin = $C_{13,21}H_{22,02}O_{39,62}N_{16,39}$

oder

1 kg Ammoniumnitrat = $H_{49,97}O_{37,48}N_{24,99}$.

Durch aliquote Addition läßt sich auch für jede Mischung eine solche, auf 1 kg Mischung bezogene Summenformel

$C_aH_bO_cN_d$

gewinnen. Dieser erste Rechenschritt wird weiter unten an einem Beispiel verdeutlicht.

Beim Übergang der Ausgangsmischung A in den Explosionszustand X treten keine weiteren Stoffe hinzu; also ist

1 kg A = 1 kg X.

Aus den genannten Elementen C, H, O und N können sich bilden: CO_2; CO; H_2; H_2O, N_2 und NO, sowie ausgeschiedener Kohlenstoff C; es wäre also

$$C_aH_bO_cN_d = 1\ \text{kg X} = n_1CO_2 + n_2H_2O + n_3N_2 + n_4CO + \\ + n_5H_2 + n_6NO + n_7C$$

Enthält die Zusammensetzung Metall-Elemente, z. B. Natrium- oder Kalium-Nitrat, Erdalkali- oder Blei-Salze, so rechnet man (wiederum konventionell) alle Alkali-Anteile auf ihre Karbonate als Explosionsprodukt, bei allen anderen Metallen nimmt man ihre Oxide als Reaktionsprodukt an; enthält der Explosivstoff Chlor, so wird auf Chloride bzw. Chlorwasserstoff, bei Schwefel auf SO_2 gerechnet.

Aus der Stöchiometrie allein lassen sich bereits folgende Beziehungen aufstellen:

$$a = n_1 + n_4 + n_7 \qquad (1)$$

(Kohlenstoffhaltige Moleküle, plus ausgeschiedener Kohlenstoff)

$$b = 2\,n_2 + 2\,n_5 \qquad (2)$$

(Wasserstoffhaltige Moleküle)

$$c = 2\,n_1 + n_2 + n_4 + n_6 \qquad (3)$$

(Sauerstoffhaltige Moleküle)

$$d = 2\,n_3 + n_6 \qquad (4)$$

(Stickstoffhaltige Moleküle).

Ist der im Stoffgemisch A gebundene Sauerstoff zur vollständigen Umsetzung zu CO_2 und H_2O ausreichend oder überschüssig („positive Sauerstoffbilanz“, s. dort), so kann man die Molzahlen der Schwadenkomponenten in erster Näherung*) sofort berechnen, wenn man den Kohlenstoff und den Wasserstoff voll mit Sauerstoff umsetzt, den überschüssigen Sauerstoff als O_2 und den Stickstoff als N_2 annimmt; die Gleichungen (1) bis (4) werden damit einfacher:

$$a = n_1 \qquad (1\,a)$$

$$b = 2\,n_2 \qquad (2\,a)$$

$$c = 2\,n_1 + n_2 \qquad (3\,a)$$

$$d = n_3 \qquad (4\,a)$$

Ist dagegen die Sauerstoffbilanz negativ, so wird die Berechnung der Zusammensetzung der Explosionsprodukte erheblich komplizierter. Für die zu errechnende Explosionstemperatur müssen die Molzahlen für H_2, CO, CO_2 und H_2O das Wassergasgleichgewicht erfüllen:

---

*) Bei bergmännischen Sprengungen wird auch bei positiver Sauerstoffbilanz neben CO_2, H_2O und N_2 immer etwas CO und etwas NO gebildet, das bei der Schwadenverdünnung mit Luft langsam zu NO_2 aufoxidiert wird (→ „Schwadenbeurteilung“).

$$CO_2 + H_2 \rightleftarrows CO + H_2O; \quad K_1\,(T; p) = \frac{[CO]\ [H_2O]}{[CO_2]\ [H_2]} \tag{5}$$

Für alle Treibstoffe (Rohrwaffenpulver und Raketentreibsätze) liegen negative Bilanzen vor; zudem handelt es sich dann hierbei nicht, wie bei den gewerblichen Sprengstoffen, um eine Werte-Ermittlung unter konventionellen Annahmen, sondern die exakte Vorausberechnung von zu erwartenden ballistischen Leistungszahlen. Ist die Sauerstoffbilanz erheblich negativ (z. B. bei TNT: −73,9 %), so muß auch die Ausscheidung von elementarem Kohlenstoff in Rechnung gestellt und das *Boudouard*-Gleichgewicht

$$CO_2 + C \rightleftarrows 2\ CO; \qquad K_3\,(T; p) = \frac{[CO]^2}{[CO_2]} \tag{6}$$

mit einbezogen werden. Bei hochenergetischen Zusammensetzungen, aber auch bei Umsätzen von Raketentreibsätzen, die unter niedrigeren Drucken verlaufen, kommen noch zahlreiche Dissoziationsreaktionen mit ihren temperatur- und druckabhängigen Gleichgewichten hinzu.

Zunächst sei nun der einfachste Fall betrachtet:

1. Konventionelle Datenberechnung für gewerbliche Sprengstoffe

Bei ihrer Umsetzung wird angenommen, daß sie „isochorisch“, d. h. theoretisch in einem unzerstörbaren, wärmeundurchlässigen Einschluß verläuft. Am besten wird die Berechnung an einem Beispiel verdeutlicht:

die Zusammensetzung des zu berechnenden Sprengstoffs sei:

8	%	Nitroglyzerin
30	%	Nitroglykol
1,5	%	Nitrocellulose
53,5	%	Ammoniumnitrat
2	%	Dinitrotoluol
5	%	Holzmehl.

Die Atomzahlen pro kg für C, H, O und N errechnen sich aus folgender Tabelle:

	C	H	O	N
Nitroglycerin 13,21 C; 22,02 H; 39,62 O; 13,21 N; davon 8 %:	1,057	1,762	3,170	1,057
Nitroglykol 13,15 C; 26,30 H; 39,45 O; 13,15 N; davon 30 %:	3,945	7,890	11,835	3,945
Nitrocellulose (12,5 % N) 22,15 C; 27,98 H; 36,3 O; 8,92 N; davon 1,5 %:	0,332	0,420	0,545	0,134
Ammoniumnitrat 49,97 H; 37,48 O; 24,99 N; davon 53,5 %:	–	26,73	20,052	13,37
Dinitrotoluol 38,43 C; 32,94 H; 21,96 O; 10,98 N; davon 2 %:	0,769	0,659	0,439	0,220
Holzmehl 41,7 C; 60,4 H; 27,0 O; davon 5 %:	2,085	3,02	1,35	–
	8,19	40,48	37,39	18,73

Damit kann ein Kilogramm der Sprengstoffmischung als folgende Formel geschrieben werden:

$C_{8,19}H_{40,48}O_{37,39}N_{18,37}$.

Die gleiche Rechenoperation ist als erster Schritt für Rohrwaffenpulver und Raketentreibsätze genau so vorzunehmen. Für die konventionelle Berechnung der gewerblichen Sprengstoffe mit positiver Sauerstoffbilanz kann nun nach den oben angegebenen Gleichungen (1) bis (4) die Zerfallsreaktion wie folgt geschrieben werden:

$$C_{8,19}H_{40,48}O_{37,39}N_{18,73} =$$

$$= 8{,}19\,CO_2 + \frac{40{,}48}{2}H_2O + \frac{18{,}73}{2}N_2 +$$

$$+ \frac{1}{2}\left(37{,}39 - 2 \times 8{,}19 - \frac{40{,}48}{2}\right)O_2$$

$$= 8{,}19\,CO_2 + 20{,}24\,H_2O + 9{,}37\,N_2 + 0{,}39\,O_2\,.$$

Die reale Zusammensetzung der Detonationsgase ist etwas anders, weil in geringerem Umfang auch CO und NO gebildet werden.

1.1 Explosionswärme

In der Tabelle 18 sind auch die Bildungsenergien und -enthalpien der Sprengstoffe und ihrer Komponenten aufgeführt. Da, wie oben gesagt, der Zerfall isochorisch, d. h. bei konstantem Volumen, angenommen wird, sind die Werte für die Bildungsenergien (die sich auf konstantes Volumen beziehen) heranzuziehen. Tabellen 19 und 21 geben die Werte der Bildungsenergien (und -enthalpien) für die Explosionsprodukte. Die Differenz zwischen den errechneten Summenwerten für die Bildungsenergien der Explosionsprodukte und der Ausgangsmischung vor dem Zerfall ergibt die Explosionswärme:

Tabelle 10. Errechnung der Bildungsenergie der Ausgangsmischung:

Komponente	Bildungsenergie kcal/kg	davon %	
Nitroglycerin	− 368,0	8	= − 29,44
Nitroglykol	− 358,2	30	= −107,46
Nitrocellulose (12,5 % N)	− 605,6	1,5	= − 9,08
Ammoniumnitrat	−1057,0	53,5	= −565,50
2,4-DNT	− 74,4	2	= − 1,49
Holzmehl	−1090	5	= − 54,5
			−767,47

Tabelle 11. Errechnung der Bildungsenergie der Explosionsprodukte („Schwaden"):

Komponente	Bildungsenergie kcal/mol	Mol-Zahl	Komponenten-Anteil
CO_2	−94,05	8,19	− 770,27
H_2O (Dampf)	−54,50	20,24	−1103,13
			−1873,40

Damit errechnet sich als Differenz die Explosionswärme:

−767,5 – (–1873,4) = +1873,4−767,5 = 1105,9
aufgerundet **1106** kcal/kg, bezogen auf H_2O-dampfförmig; will man den auf H_2O-flüssig bezogenen Wert errechnen, muß man die entsprechende Bildungsenergie (−67,43 anstelle −54,50 kcal/mol) einsetzen und erhält 1368 kcal/kg = 5726 kJ/kg.

1.2 Normalgasvolumen

Konventionell wird als Normalgasvolumen das Volumen der gasförmigen Reaktionsprodukte von 1 kg Sprengstoff bei „Normalbedingungen", d. h. bei 0 °C und 1 Atmosphäre Druck angegeben; ein Mol ideales Gas nimmt unter den Bedingungen bekanntlich 22,414 l ein; durch Multiplikation der Molzahl der gasförmigen Reaktionsprodukte mit 22,414 ergibt sich das Normalgasvolumen:

CO_2:	8,19
H_2O:	20,24
N_2:	9,37
O_2:	0,39

Summe: $38{,}19 \times 22{,}414 =$ **856** l/kg Normalgasvolumen.

1.3 Detonationstemperatur

Als Detonationstemperatur gilt in diesem Zusammenhang die Temperatur, welche die Reaktionsprodukte annehmen würden, wenn die Detonation isochorisch, also im unzerstörbaren und wärmeundurchlässigem Einschluß abliefe. Diese Definition ist verschieden von der realen Temperatur der Gase in der Detonationswellenfront, wie unter dem Stichwort „Detonation; hydrodynamische Theorie der Detonation" dargestellt; jene Temperatur ist höher.

Die hier zu ermittelnde Detonationstemperatur wird wie folgt errechnet:

Der Wärmeinhalt der Detonationsprodukte muß gleich sein der berechneten Explosionswärme. Tabelle 22 (Seite 320) gibt nun die „inneren Energien" der verschiedenen Gase und von festem Kohlenstoff als Funktion der absoluten Temperatur K an. Nun nimmt man einen wahrscheinlich zu niedrigen und einen zu hohen Wert für die Detonationstemperatur an und berechnet aus Tabelle 22 die entsprechenden Energie-Inhalte. Für das Rechenbeispiel seien als zu niedrig 3600 K und als zu hoch 3700 K angenommen; dann ergeben sich:

Tabelle 12.

	Mol-Zahl	3500 K	Energie-Inhalt kcal	3600 K	Energie-Inhalt kcal
CO_2	8,19	37,43	306,6	38,76	317,4
H_2O	20,24	29,37	594,5	30,50	617,3
N_2	9,37	20,05	187,9	20,74	194,3
O_2	0,39	21,58	8,4	22,37	8,7
			1097		1138

Linear interpoliert auf den oben errechneten Wert 1110 kcal/kg ergibt sich
die Detonationstemperatur **3532** K.

Für den betrachteten Typ von Ammoniumnitrat-Nitroglycerin-Sprengstoff können folgende Temperaturwerte in Abhängigkeit von den Werten für die Explosionswärme empfohlen werden:

Tabelle 13.

Explosionswärme kcal/kg	zu niedrig K	zu hoch K
900	2900	3000
950	3000	3100
1000	3100	3200
1050	3300	3400
1100	3400	3500
1150	3500	3600
1200	3700	3800

1.4 Spezifische Energie

Bleibt man bei der Modellvorstellung von der Detonation im unzerstörbaren wärmeundurchlässigen Einschluß, so kann man für die eingeschlossenen heißen Gase auch deren Druck berechnen. Dieser Druck multipliziert mit dem Volumen des einen Kilogramm Sprengstoff hat die Dimension einer Energie; er wird daher als „spezifische Energie“ bezeichnet. Auch diese Druckberechnung hat – wie die Detonationstemperatur – mit dem Druck der Detonationsgase in der Detonationswellenfront (→ Detonation; hydrodynamische Theorie) nichts zu tun, wiederum ist jener ganz erheblich höher. Die spezifische Energie ist die beste Rechengröße, um die → Arbeitsleistungen der verschiedenen Sprengstoffe vergleichen zu können; einem Vorschlag von *J. F. Roth* folgend in einem mechanischen Energiemaß, in Metertonnen pro kg angegeben, um das Arbeitspotential eines Sprengstoffs anschaulich zu machen.

Die spezifische Energie *f* errechnet sich aus der Gleichung

$f = n\,RT_{ex}$.

n: Zahl der gasförmigen Explosionsprodukte;
T_{ex}*:* die berechnete Detonationswärme in Grad Kelvin K, siehe oben;
R: die Gaskonstante; wird das Resultat in Metertonnen gewünscht, ist für *R* 8,478 · 10^{-4}*) einzusetzen.

*) Werte in anderen Energiedimensionen: → Tabellen auf dem Vorsatzpapier des Bucheinbands hinten.

Für das Rechenbeispiel ist

n = 38,19
T_{ex} = 3532 K
f = 38,19 · 8,478 · 10^{-4} · 3532 = **114,4** mt/kg.

1.5 Energieniveau; Energiedichte

Wiederum *J. F. Roth* folgend, wurde auch die Kenngröße „Energieniveau" geschaffen; sie gibt die spezifische Energie bezogen auf die Volumeneinheit anstelle der Gewichtseinheit an und wird erhalten, wenn man den Wert der spezifischen Energie mit der Ladedichte des Sprengstoffs multipliziert:

l: = $\varrho \cdot f$
l: Energieniveau mt/l
ϱ: Dichte in g/cm^3
f: spezifische Energie mt/kg.

Eine Zusammensetzung, wie im Rechenbeispiel betrachtet, würde einen gelatinösen Sprengstoff darstellen und eine Dichte ϱ = 1,5 g/cm^3 erwarten lassen; das Energieniveau wäre dann also

l = 1,5 × *114,4* = **171,5** mt/l.

Bei pulverförmigen Sprengstoffen, deren Dichte meistens in der Nähe von 1 g/cm^3 liegt, sind spezifische Energie und Energiedichte numerisch praktisch gleich.

1.6 Sauerstoffbilanz

Diese Berechnung ist unter dem Stichwort „Sauerstoffwert" dargestellt; siehe dort. Das Rechenbeispiel ergäbe +1,2 %.

2. Sprengstoffe und Treibstoffe mit negativer Sauerstoffbilanz

2.1 Berechnung von Rohrwaffenpulvern

Auch dieser Vorgang wird isochorisch, also bei konstantem Volumen angenommen (exaktere innenballistische Rechnungen müssen allerdings die Volumenvergrößerung berücksichtigen, welche sich aus dem Beginn der Geschoßbewegung im Lauf der Waffe ergibt).

Der erste Rechenschritt ist auch hier die Aufstellung der Summenformel $C_aH_bO_cN_d$, allerdings ist nun

$$c < 2\,a + \frac{1}{2}b$$

und, wie oben (Seite 298/299) bereits dargelegt, müssen die Gleichgewichte (5) und (6) berücksichtigt werden. Bei der Gleichgewichtsreaktion (5) treten keine Molzahländerungen ein, das Gleichgewicht ist Temperatur-, aber nicht Druckabhängig, daher kann Gleichung (5) auch

$$K_1 = \frac{n_2 \cdot n_4}{n_1 \cdot n_5} \tag{5a}$$

geschrieben werden. Als weiteres zu berücksichtigendes Gleichgewicht muß die NO-Bildung einbezogen werden

$1/2N_2 + CO_2 = CO + NO$

mit der Gleichgewichtsbeziehung

$$K_2 = \frac{[CO] \cdot [NO]}{[N_2]^{1/2} \cdot [CO_2]} = \frac{\frac{p}{n} n_4 \cdot \frac{p}{n} n_6}{\frac{p}{n}^{1/2} \cdot n_3^{1/2} \cdot \frac{p}{n} n_1}$$

oder

$$K_3 = \sqrt{\frac{p}{n}} \frac{n_4 \cdot n_6}{\sqrt{n_3 \cdot n_1}} \tag{7}$$

K_3: Gleichgewichtskonstante Reaktionsgase;

p: Gesamt-Druck; $\frac{p}{n} n_1$, $\frac{p}{n} n_2$ usw. die Partialdrucke der entsprechenden Komponenten

n: Gesamt-Molzahl, n_1 , n_2 . . . n_6 die Molzahlen von CO_2, H_2O, N_2, CO, H_2 und NO; n_1 bezeichnet die Menge ausgeschiedenen Kohlenstoffs.

Die Gleichgewichtsbeziehung (6), das Boudouardgleichgewicht ist ebenfalls druckabhängig, da eine Molzahländerung eintritt.

Alles in allem entsteht für die sieben Unbekannten n_1 bis n_7 ein System von 7 nicht-linearen Gleichungen innerhalb deren jede Änderung der Molzahlen eine Änderung von Temperatur und Druck bewirkt, die wiederum die Höhe der Gleichgewichtskonstanten K_1, K_2 und K_3 beeinflussen. Das System ist nur durch sog. „Iteration“, d. h. unter Durchrechnung auf Annahmen von Temperatur- und Druckwerten und schrittweise Annäherung an die richtigen Werte, bei denen alle Gleichgewichtsbeziehungen erfüllt werden, zu erreichen (ein besonders einfacher Fall einer „Iteration“ wurde oben bei der Berechnung der Detonationstemperatur der sauerstoffpositiven Sprengstoffe gezeigt).

Müssen Dissoziationsgleichgewichte berücksichtigt werden, so bedeutet jedes Gleichgewicht mehr eine Unbekannte und eine Gleichung mehr im Gleichungssystem.

Heute werden solche komplizierten Rechenoperationen praktisch nur noch mit Hilfe von Computer-Anlagen durchgeführt.

Als Resultat werden erhalten

die Explosionswärme,
die Explosionstemperatur,
das mittlere Molekulargewicht der Reaktionsgase,
die Gesamt-Molzahl,
die spezifische Energie,
die Zusammensetzung der Reaktionsprodukte,

das Verhältnis der spezifischen Wärmen c_p/c_v
das Covolumen der Gase *), usw.

Damit werden die benötigten Daten für weitere innenballistische Rechnungen und Messungen (→ Abbrandgeschwindigkeit; → ballistische Bombe) erhalten.

Als Beispiel sei hier das Resultat der Berechnung eines zweibasigen Geschützpulvers**) mitgeteilt:

Zusammensetzung

Nitrocellulose (13,25 % N)	57,23 %
Nitroglycerin	40,04 %
Kaliumnitrat	1,49 %
Centralit I	0,74 %
Ethanol (Lösemittel-Rest)	0,50 %

Summenformel:

1 kg Pulver: $C_{18,14}H_{24,88}O_{37,41}N_{10,91}K_{0,015}$

Die Bildungsenergie der Ausgangsmischung ist −2060,0 kJ/kg = −492,0 kcal/kg.

Die Resultate bezogen auf eine Ladedichte von 210 kg/m³:

Explosionstemperatur:	3904 K
Explosionsdruck:	311,1 MPa = 3111 bar
mittleres Molekulargewicht der Gase:	27,28 g/mol
Gesamt-Molzahl:	36,66 mol/kg
spezifische Energie:	$1{,}199 \times 10^6$ Nm/kg = 1190 kJ/kg
Kappa ($\varkappa = C_p/C_v$):	1,210
Covolumen:	$9{,}37 \times 10^{-4}$ m³/kg

Die Zusammensetzung der Reaktionsprodukte ist dann in Mol-Prozent:

28,62 % H_2O
28,43 % CO
21,05 % CO_2
4,15 % H_2
14,62 % N_2
0,21 % O_2
0,50 % NO
0,38 % KOH
1.52 % OH
0,42 % H
0,09 % O
0,02 % K

} dissoziierte Atome und Radikale

*) Das Covolumen, annähernd das „Eigenvolumen" der Gasmoleküle, ist eine wichtige Größe zur Aufstellung der → Zustandsgleichung für reale (d. h. also: nicht ideale) Gase.

**) Berechnet mit dem „ICT-Thermodynamik-Code" des Fraunhofer-Instituts für Chemische Technologie, Pfinztal-Berghausen.

2.2 Annäherungsberechnungen unter vereinfachenden Annahmen

Zunächst sei auf Tabelle 8, Seite 135, über die „partiellen Explosionswärmen“ nach *A. Schmidt* hingewiesen. Damit kann die Explosionswärme z. B. einer Treibstoffzusammensetzung in erster Näherung recht gut und sehr schnell durch einfache aliquote Addition der partiellen Werte berechnet werden (das Ergebnis bezieht sich auf H_2O flüssig und kann leicht auf H_2O-Dampf umgerechnet werden).

Auch die oben geschilderte komplizierte Problemlage vereinfacht sich erheblich, wenn vereinfachende Annahmen gemacht werden können (dies trifft vor allem auf die Berechnung von konventionellen Kennzahlen für Sprengstoffmischungen zu, die nur etwas sauerstoffunterbilanziert sind; → Andex; → Supramit und → Schlammsprengstoffe. Diese Annahmen seien

keine NO-Bildung und
keine Ausscheidung von festem Kohlenstoff.

Damit entfallen die Gleichgewichtsbeziehungen nach (6) und (7). Die Zerfallsgleichung reduziert sich auf

$$C_aH_bO_cN_d = n_1\ CO_2 + n_2\ H_2O + n_3\ N_2 + n_4\ CO + n_5\ H_2;$$

die stöchiometrischen Gleichungen (1), (2), (3) und (4) werden einfacher

$$a = n_1 + n_4 \quad (1)$$
$$b = 2\ n_2 + 2\ n_5 \quad (2)$$
$$c = 2\ n_1 + n_2 + n_4 \quad (3)$$
$$d = 2\ n_3 \quad (4)$$

und als Gleichgewicht verbleibt das Wassergasgleichgewicht

$$K_1 = \frac{[CO]\ [H_2O]}{[H_2]\ [CO_2]}$$

Eine Abschätzung der Explosionswärme ist nach dem oben Dargelegten leicht zu gewinnen und damit auch eine Schätzung von einer etwas zu geringen und einer zu hohen Explosionstemperatur, zwischen denen man wiederum, wie unter 1.1. dargelegt, interpolieren kann. Zur Erläuterung diene wiederum ein Beispiel; die Zusammensetzung sei

Nitrocellulose (13,0 % N):	58 %
Nitroglycerin:	40 %
Centralit I:	1 %
Dibutylphthalat:	1 %

Als Summenformel errechnet sich

$$C_{18,99}H_{25,79}O_{37,21}N_{10,74}$$

Tabelle 14. Berechnung der Explosionswärme aus den partiellen Werten nach *A. Schmidt* (→ Tabelle 8, Seite 135).

	partielle Explosions-wärme kcal/kg	%	aliquot
Nitrocellulose 13,0 % N	+1022	58	+592,8
Nitroglycerin	+1785	40	+714,0
Centralit I	−2381	1	− 23,8
Dibutylphthalat	−2071	1	− 20,7

Explosionswärme annähernd (H_2O flüssig): 1262,3 ≈ 1262 kcal/kg.

Für Nitrocellulose- und Nitroglycerin-Pulver kann die folgende Tabelle zur Abschätzung einer zu niedrigen und einer zu hohen Explosionstemperatur verwendet werden:

Tabelle 15.

Explosionswärme (H_2O flüssig) kcal/kg	T_{ex} zu niedrig K	T_{ex} zu hoch K
900	2500	2700
950	2700	2900
1000	2900	3100
1050	3100	3300
1100	3300	3500
1150	3500	3700
1200	3700	3900
1250	3900	4000

Damit ist ein erster Anhaltswert gefunden: man sollte K = 3900 und damit (gemäß Tabelle 24, Seite 324) K_1 = 8,43 versuchen. Für die Berechnung der Unbekannten n_1, n_2, n_3, n_4 und n_5 sei folgende Überlegung angestellt: die Gleichung (5), die Gleichgewichtsbeziehung, wird am stärksten durch die Unbekannte n_5 (die Wasserstoffmolzahl) beeinflußt, da diese klein ist und daher auch durch nur kleine Änderungen beeinflußt wird. Man sollte daher den Bestwert für n_5 finden und dann aus der stöchiometrischen Gleichung die übrigen Unbekannten ausrechnen. Die Variation von n_5 und ihre Konsequenzen auf K_1 zeigt folgende Übersicht:

Tabelle 16.

ist $[H_2]$ n_5	dann sind $[CO_2]$ n_1	$[H_2O]$ n_2	$[CO]$ n_4	$K_1 = \frac{n_2 \cdot n_4}{n_5 \cdot n_1}$
= 1,8	7,12	11,10	11,87	10,3
= 1,9	7,22	11,00	11,77	9,4
= 2,0	7,32	10,90	11,67	8,7
= 2,1	7,42	10,80	11,57	8,0
= 2,2	7,52	10,70	11,47	7,4

Durch Interpolation auf den K_1-Wert 8,43 gewinnt man n_5 = 2,04 und weiter aus den stöchiometrischen Beziehungen: n_1 = 7,36.

Die Zerfallsgleichung ist nun (vorläufig):

$C_{18,99}H_{25,79}O_{37,21}N_{10,74}$ = 7,36 CO_3 + 10,86 H_2O + 5,37 N_2 + 11,63 CO + + 2,04 H_2.

Damit geht man auf den gleichen Rechenweg, wie oben für sauerstoffüberbilanzierte Sprengstoffe (→ Tabellen 11, 12, 13 und 14) gezeigt und erhält

1129 kcal/kg als Explosionswärme (H_2O-Dampf), und
3933 K als Explosionstemperatur.

Die Explosionswärme liegt damit – nach Umrechnung von H_2O-Dampf auf H_2O-flüssig – etwa 25 kcal niedriger als der aus den partiellen Explosionswärmen errechnete Wert. Die Gleichgewichtskonstante K_1 beträgt für die errechnete Explosionstemperatur 3933 K nunmehr 8,46 (anstelle der oben einstweilen angenommenen Zahl 8,43); geht man damit nochmals zurück in die n_5-Berechnung nach Tabelle 17, so ändert sich die Zahl für n_5 nur etwas und beträgt nunmehr 2,03.

Resultate:

Zerfallsgleichung (endgültig):
$C_{18,99}H_{25,79}O_{37,21}N_{10,74}$ = 7,35 CO_2 + 10,87 H_2O + 5,37 N_2 + + 11,64 CO + 2,03 H_2.

Explosionswärme:	1129 kcal/kg = 4727 kJ/kg
Explosionstemperatur:	3933 K
mittleres Molekulargewicht der gasförmigen Reaktionsprodukte:	26,83
Gesamt-Molzahl der Gase:	37,26
spezifische Energie:	122,1 · 10^4 N m = 1221 kJ
Zusammensetzung der Reaktionsprodukte in Volumenprozent:	19,75 % CO_2
	29,17 % H_2O
	14,41 % N_2
	31,24 % CO
	5,45 % H_2

Soll wiederum die Explosionswärme bezogen auf H_2O-flüssig berechnet werden, so sind für 10,87 Mole H_2O als Bildungswärme –67,43 anstelle

–57,50 kcal/mol in Ansatz zu bringen; die Explosionswärme für H_2O-flüssig wird dann 1228 kcal/kg = 5142 kJ/kg.

3. Raketentreibstoffe

Die Berechnung der Leistungsdaten von Raketentreibstoffen geschieht in gleicher Weise, wie für die Rohrwaffenpulver beschrieben, jedoch läuft der Abbrandprozeß in der Raketenkammer bei konstantem Druck und nicht bei konstantem Volumen ab. Anstelle der Energie-Werte sind den Tabellen des Buches die immer daneben aufgelisteten Enthalpie-Werte zu entnehmen; für die inneren Wärme-Inhalte der Reaktionsgase → gilt Tabelle 23 anstelle 22.

Die ersten Rechenoperationen sind die gleichen wie oben: Aufstellung der Zerfallsgleichung, Berechnung der Reaktionswärme und der Reaktionstemperatur $T_{c'}$.

Der zweite Schritt ist nun, die gleichen Gaszustandsdaten für den Düsenausgang zu ermitteln, also p_e = 1 bar, Tp_e usw.; die Grundannahme ist, daß dieser Übergang „isentropisch"*), d. h. ohne Entropie-Zunahme erfolgt, also mit maximal möglichem Aufbringen von kinetischer Energie zur Beschleunigung der Raketenmasse.

Die Rechenmethode beginnt mit einer Annahme für die Temperatur am Gas-Austritt, z. B. T_e = 500 K. Der Übergang von den thermodynamischen Bedingungen in der Kammer zu denen am Düsen-Austritt wird als momentan angenommen, d. h. die Gaszusammensetzung bleibt unverändert („eingefrorene Gleichgewichte"). Nun setzt man die Entropiewerte für den Zustand in der Kammer S_c der Entropie am Düsen-Austritt S_e gleich; S_c ist berechenbar, da der Gaszustand in der Kammer bekannt ist; für H_e wird die angenommene Temperatur solange gehoben, bis Gleichheit erreicht ist. Danach sind die entsprechenden Enthalpiewerte H_c und H_e berechenbar; ihre Differenz ist der kinetischen Energie (einhalb Raketenmasse mal Geschwindigkeitsquadrat

---

*) Die Entropie ist ein wichtiger Begriff der Thermodynamik und stellt, anschaulich beschrieben, den Anteil des Wärmeinhalts eines thermodynamischen Systems dar, der sich nicht in mechanische Arbeit umsetzen läßt, bzw. ist ein Maß für die durch die Wärmebewegung der Moleküle entstehenden „Unordnung". Für die hier betrachteten Gaszustände bei konstantem Druck ist mathematisch beschrieben die Entropie

$$S = \int \frac{c_p}{T} \mathrm{d}T$$

S: Entropie
c_p: spezifische Wärme bei konstantem Druck
T: absolute Temperatur.

Näheres über die Entropie-Definiton und ihre Verwendung bei der Berechnung von Raketen-Triebwerken: *E. Büchner*, Zur Thermodynamik von Verbrennungsvorgängen, 2te Auflage, München 1974.

gleichzusetzen, und für den spezifischen Impuls ergibt sich (→ auch Seite 273):

$I_s = \sqrt{2J\,(H_c - H_e)}$ Newton-Sekunden pro Kilogramm

oder

$I_{s\ froz} = 91{,}507\ \sqrt{H_c - H_e}$ N s/kg

J: mechanisches Wärmeäquivalent;

		Dimension:
$I_{s\ froz}$	spezifischer Impuls für eingefrorene Gleichgewichte	N s/kg
H_c	Enthalpie der Gase in der Kammer	kcal/kg bzw. kJ/kg
H_e	Enthalpie der Gase am Düsenaustritt	kcal/kg bzw. kJ/kg
T_c	Gastemperatur in der Kammer	K
T_e	Gastemperatur am Düsenaustritt	K

Mit einem Computer-Programm sind auch gleitende (nicht als gefroren betrachtete) Gleichgewichte berechenbar.

Als Resultat der thermodynamischen Berechnung von Raketentreibsätzen mit entsprechenden Computer-Programmen werden erhalten:

- die Temperatur in der Kammer (die adiabatische Flammentemperatur;
- die Temperatur am Düsenaustritt bei eingefrorenen Gleichgewichten;
- die Temperatur am Düsenaustritt bei gleitenden Gleichgewichten;
- die Gaszusammensetzung in der Kammer und am Düsenaustritt;
- das mittlere Molekulargewicht der Gase in der Kammer und am Düsenaustritt;
- die Gesamt-Molzahl der Gase in der Kammer und am Düsenaustritt;
- der spezifische Impuls bei eingefrorenen und bei gleitenden Gleichgewichten;
- das Verhältnis der spezifischen Wärmen $\frac{c_p}{c_v}$

Als Beispiel sei folgende zweibasige Treibstoffzusammensetzung angenommen:

Nitrocellulose (13,25 % N)	52,15 %
Nitroglycerin	43,54 %
Diethylphthalat	3,29 %
Centralit I	1,02 %

Die Bildungsenthalpie der Ausgangsmischung ist –2097,7 kJ/kg = –501,0 kcal/kg

Der Kammerdruck betrage – gegeben durch entsprechende Wahl des Querschnittverhältnisses 7,0 MPa (1015 p. s. i.).

Die Resultate der Computer-Kalkulation*):

Temperatur in der Brennkammer	3074 K
Temperatur am Düsenaustritt: (bei gefrorenen Gleichgewichten)	1393 K
Temperatur am Düsenaustritt: (bei gleitenden Gleichgewichten)	1491 K
mittleres Molekulargewicht: (in der Brennkammer)	26,33 g/mol
Gesamtmolzahl:	37,98 mol/kg
Kappa ($\varkappa = C_p/C_v$):	1,216
Spezifischer Impuls bei: (eingefrorenen Gleichgewichten)	2397 Ns/kg
spezifischer Impuls bei: (gleitenden Gleichgewichten)	2436 Ns/kg

*) Berechnet mit dem „ICT-Thermodynamik-Code“ des Fraunhofer-Instituts für Chemische Technologie, Pfinztal-Berghausen.

Tabelle 17. Bildungsenthalpie und Bildungsenergie der Explosivstoff- und Treibstoffkomponenten, bezogen auf 298,15 K = 25 °C und auf Graphit als Kohlenstoffmodifikation

Symbolerklärung:

(1): Initialsprengstoff
(2): Sekundärsprengstoff
(3): Tertiärsprengstoff
(4): Treibstoffkomponente
(5): Sauerstoffträger
(6): Brennstoff
(7): Stabilisator
(8): Gelatinator
(9): Abbrandmoderator
(10): polymerer Binder
(11): Präpolymer
(12): Härter
(13): Andicker
(14): Trennmittel
(15): Säurebinder
(16): Wettersprengstoffkomponente
(17): Sprengschlammkomponente

Name	Bruttoformel	Bildungsenthalpie		Bildungsenergie		g-Atome pro kg				Verwendet als
		kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg	kJ/kg	C	H	O	N	
Akardit I	$C_{13}H_{12}ON_2$	– 138,2	– 578,6	– 117,3	– 491,0	61,25	56,54	4,71	9,42	(7)
Akardit II	$C_{14}H_{14}ON_2$	– 112,7	– 471,8	– 90,5	– 378,7	61,87	61,87	4,42	8,84	(7); (8)
Akardit III	$C_{15}H_{16}ON_2$	– 151,9	– 635,9	– 128,5	– 537,9	62,42	66,58	4,16	8,32	(7); (8)
Aluminium	Al	0	0	0	0	–	–	–	–	Al: 37,08 (6); (17)
Ammoniumchlorid	H_4NCl	–1405	–5879	–1372	–5740	–	74,78	–	18,69	Cl: 18,69 (16)
Ammoniumdinitramid	$H_4O_4N_4$	– 288,85	–1207,4	– 260,0	–1087	–	32,24	32,24	32,24	(5)
Ammoniumnitrat	$H_4O_9N_2$	–1092	–4566,7	–1058	–4428	–	49,97	37,48	24,99	(3); (5); (16); (17)

Tabelle 17. (Fortsetzung)

Ammoniumoxalat ·H_2O	$C_2H_{10}O_5N_2$	–2397,4	–10037,5	–2362,0	– 9889,2	14,07	70,36	35,18	14,07	(6); (16)
Ammoniumperchlorat	H_4O_4NCl	– 601,7	– 2519,1	– 576,5	– 2413,6	–	34,04	34,04	8,51	Cl: 8,51 (3); (5)
Bariumnitrat	O_6N_2Ba	– 907,1	– 3797,8	– 898,0	– 3759,9	–	–	22,96	7,65	Ba: 3,83 (5)
Bleiacetylsalicylat	$C_{18}H_{16}O_9Pb$	– 823,5	– 3447,6	– 810,8	– 3394,5	30,85	27,42	15,42	–	Pb: 1,71 (9)
Bleiazid	N_6Pb	+ 391,4	+ 1638,8	+ 397,5	+ 1664,4	–	–	–	20,60	Pb: 3,43 (1)
Blei-ethylhexoat	$C_{16}H_{30}O_4Pb$	– 723,8	– 3030,6	– 703,5	– 2945,2	32,41	60,78	8,10	–	Pb: 2,03 (9)
Bleinitrat	C_6N_2Pb	– 324,1	– 1357,0	– 317,0	– 1327,1	–	–	18,11	6,04	Pb: 3,02 (5)
Bleitrinitroresorcinat	$C_6H_3O_9N_3Pb$	– 427,1	– 1788,1	– 417,6	– 1748,4	12,81	6,41	19,22	6,41	Pb: 2,13 (1)
N-Butyl-nitrato-ethyl-nitramin	$C_6\ H_{13}N_3O_5$	– 221,87	– 928.94	– 191,88	– 803.34	28,96	62,74	24,13	14,48	(4)
Calciumcarbonat	CO_3Ca	–2882,1	–12066,9	–2873,3	–12029,7	10,00	–	30,00	–	Ca: 10,00 (15)
Calciumnitrat · 4 H_2O	$H_8N_2O_{10}Ca$	–2157,0	– 9030,8	–2131,9	– 8925,8	–	33,88	42,35	8,47	Ca: 4,24 (5); (17)
Calciumstearat	$C_{36}H_{70}O_4Ca$	– 822	– 3442	– 786	– 3291	59,30	115,31	6,59	–	Ca: 1,65 (6); (14)
Campher	$C_{10}H_{16}O$	– 513,0	– 2147,9	– 480,0	– 2009,5	65,69	105,10	6,57	–	(8)
Centralit I	$C_{17}H_{20}ON_2$	– 93,5	– 391,6	– 68,2	– 285,4	63,34	74,52	3,73	7,45	(7); (8)
Centralit II	$C_{15}H_{16}ON_2$	– 60,8	– 254,0	– 37,3	– 156,4	62,42	66,58	4,16	8,32	(7); (8)
Centralit III	$C_{16}H_{18}ON_2$	– 119,1	– 498,8	– 94,7	– 396,5	62,90	70,76	3,93	786	(7); (8)
1,1-Diamino-2,2-dinitro-ethylen FOX-7)	$C_2H_4N_4O_4$	– 31,98	– 133.9	– 28,4	– 119	13,51	27,01	27,01	27,01	(2)
Diamylphthalat	$C_{18}H_{26}O_4$	– 720,9	– 3018,5	– 692,0	– 2897,1	58,75	84,85	13,06	–	(8)
Dibutylphthalat	$C_{16}H_{22}O_4$	– 723,6	– 3029,4	– 695,9	– 2913,6	57,47	79,02	14,37	–	(8)
Diglykoldinitrat	$C_4H_8O_7N_2$	– 506,8	– 2122,0	– 481,2	– 2014,6	20,40	40,79	35,69	10,20	(4)

Tabelle 17. (Fortsetzung)

Name	Bruttoformel	Bildungs-enthalpie		Bildungs-energie		g-Atome pro kg				Verwendet als
		kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg	kJ/kg	C	H	O	N	
1,1-Dimethylhydrazin	$C_2H_8N_2$	+ 201,3	+ 842,9	+ 250,6	+1049,2	33,28	133,11	–	33,28	(4)
2,4-Dinitrotoluol	$C_7H_6O_4N_2$	– 93,9	– 393,1	– 74,4	– 311,4	38,43	32,94	21,96	10,98	(4); (6)
2,6-Dinitrotoluol		– 67,1	– 280,9	– 47,6	– 199,2					(4); (6)
Diphenylamin	$C_{12}H_{11}N$	+ 165,0	+ 691,0	+ 186,0	+ 778,9	70,92	65,01	–	5,91	(7)
Diphenylurethan	$C_{15}H_{15}O_2N$	– 334,9	–1402,0	– 312,8	–1309,6	62,16	62,16	8,29	4,14	(7); (8)
Eisen-Acetylacetonat	$C_{15}H_{21}O_6Fe$	– 858,7	–3595,3	– 836,1	–3500,6	42,27	59,46	16,99	–	Fe: 2,83 (9)
Ethrioltrinitrat	$C_6H_{11}O_9N_3$	– 426,1	–1784,1	– 400,8	–1678,2	22,30	40,88	33,44	11,15	(4)
Ethylendiamindinitrat	$C_2H_{10}O_6N_4$	– 837,1	–3504,7	– 805,3	–3371,5	10,75	53,73	32,34	21,49	(2)
Ferrocen	$C_{10}H_{10}Fe$	+ 181,1	+ 758,4	+ 197,1	+ 825,1	53,76	53,76	–	–	Fe: 5,38 (9)
Glykol	$C_2H_6O_2$	–1752	–7336	–1714	–7177	32,22	96,66	32,22	–	(6)
Glycidylazidpolymer (GAP)	$(C_3H_5ON_3C)n$	+ 281,6	+1178,8	+ 308,4	+1291,4	30,28	50,46	10,09	30,28	(4); (10)
Guanidinnitrat	$CH_6O_3N_4$	– 757,7	–3172,2	– 726,2	–3040,3	8,19	49,14	24,57	32,76	(4)
Guanylurea-dinitramide (GUDN, FOX-12)	$C_2H_7N_7O_5$	– 85,0	– 356	– 79,3	– 332	9,56	33,47	23,91	33,47	(2); (4)
Guramehl		– 307,5	–1287	– 277,9	–1163	33,30	66,61	33,30	–	(13)
Harnstoff	CH_4ON_2	–1325,9	–5551,4	–1291,4	–5407,0	16,65	66,60	16,65	33,30	(6); (17)
Harnstoffnitrat	$CH_5O_4N_3$	–1092,9	–4575,7	–1064,0	–4454,8	8,12	40,62	32,49	24,37	
Hexanitrodiphenylamin	$C_{12}H_5O_{12}N_7$	+ 22,5	+ 94,4	+ 38,7	+ 162,1	27,32	11,38	27,32	15,94	(2)
Hexogen (RDX)	$C_3H_6O_6N_6$	+ 71,6	+ 299,7	+ 95,6	+ 400,2	13,50	27,01	27,01	27,01	(2)
Hexanitrohexaaza-isowurtzitan (CL20)	$C_6H_6O_{12}N_{12}$	+ 230,5	+ 964,4	+ 250,8	+1049,2	13,69	13,69	27,39	27,39	(2)
Holzmehl		–1116	–4672	–1090	–4564	41,7	60,4	27,0	–	(6)
Hydrazin	H_4N_2	+ 377,6	+1580,9	+ 433,0	+1813,0	–	124,80	–	62,40	(6)
Hydrazinnitrat	$H_5O_3N_3$	– 702,2	–2940,0	– 672,3	–2814,6	–	52,60	31,56	31,56	(2); (4)
Kaliumnitrat	O_3NK	–1164,8	–4876,6	–1153,0	–4827,5	–	–	29,67	9,89	K: 9,89 (5); (16)

Tabelle 17. (Fortsetzung)

Kerosin (MIL-J-5624F)		– 155,2	– 649,7	– 114,1	– 477,7	71,61	138,77	–	–		(6)
Kohle (Steinkohle)		0	0	0	0	65,12	49,90	5,24	–		(6)
Magnesiumcarbonat	O_3CMg	–3175	–13290	–3164	–13250	11,86	–	35,60	–	Mg: 11,86	(14);
Mannithexanitrat	$C_6H_8O_{18}N_6$	– 340,6	–1426,0	– 319,6	–1338,3	13,27	17,70	39,82	13,27		(2)
Methylaminnitrat (MAN)	$CH_6O_3N_2$	– 896,1	–3752,0	– 861,5	–3607,0	10,63	63,78	31,89	21,26		(17)
Metrioltrinitrat	$C_5H_9O_9N_3$	– 415,5	–1739,4	– 391,1	–1637,4	19,60	35,27	35,27	11,76		(4)
Natriumbicarbonat	CHO_3Na	–2695	–11280	–2681	–11230	11,90	11,90	35,71	–	Na: 11,90	(15)
Natriumnitrat	O_3NNa	–1314,4	–5503,3	–1300,5	–5444,9	–	–	35,29	11,76	Na: 11,76	(5); (16)
Nitrocellulose, 13,3 % N		– 577,4	–2417,5	– 556,1	–2328,3	21,19	25,83	36,65	9,50		(4)
Nitrocellulose, 13,0 % N		– 596,1	–2495,7	– 574,6	–2405,9	21,55	26,64	36,52	9,28		(4)
Nitrocellulose, 12,5 % N		– 627,2	–2626,2	– 605,6	–2535,4	22,15	27,98	36,30	8,92		(4)
Nitrocellulose, 12,0 % N		– 658,4	–2756,6	– 636,6	–2664,9	22,74	29,33	36,08	8,57		(4)
Nitrocellulose, 11,5 % N		– 689,6	–2887,1	– 667,4	–2794,4	23,33	30,68	35,86	8,21		(4)
Nitrocellulose, 11,0 % N		– 720,7	–3017,4	– 698,3	–2923,8	23,94	32,03	35,65	7,84		(4)
Nitrodiphenylamin	$C_{12}H_{10}O_2N_2$	+ 71,9	+ 301,0	+ 91,2	+ 382,0	56,01	46,68	9,34	9,34		(7)
Nitroglycerin	$C_3H_5O_9N_3$	– 390,2	–1633,5	– 368,0	–1540,7	13,21	22,02	39,62	13,21		(2); (4)
Nitroglykol	$C_2H_4O_6N_2$	– 381,6	–1597,5	– 358,2	–1499,7	13,15	26,30	39,45	13,15		(2)
Nitroguanidin	$CH_4O_2N_4$	– 213,3	– 893,1	– 184,9	– 774,0	9,61	38,42	19,21	38,42		(4)
Nitromethan	CH_3O_2N	– 442,8	–1854,0	– 413,7	–1732,2	6,39	49,17	32,77	16,39		(2)
Nitropenta	$C_5H_8O_{12}N_4$	– 407,4	–1705,8	– 384,9	–1611,7	15,81	25,30	37,95	12,65		(2)
Oktogen (HMX)	$C_4H_8O_8N_8$	+ 60,5	+ 253,5	+ 84,5	+ 353,9	13,50	27,01	27,01	27,01		(2)
Paraffin		– 534,1	–2236,0	– 489,9	–2051,0	71,0	148	–	–		(6)
Petroleum		– 440	–1842	– 400	–1675	70,5	140	–	–		(6)
Pikrinsäure	$C_6H_3O_7N_3$	– 223,6	– 936,2	– 206,8	– 865,9	26,20	13,10	30,55	13,10		(2)

Tabelle 17. (Fortsetzung)

Name	Bruttoformel	Bildungs-enthalpie		Bildungs-energie		g-Atome pro kg				Verwendet als
		kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg	kJ/kg	C	H	O	N	
Poly-3-azidomethyl-3-methyl-oxetan (Poly-AMMO)	$(C_5H_9N_3O)_n$	82,45	345,19	112,71	471,88	39,32	70,78	7,87	23,59	(4); (10)
Poly-3,3-bisazido-methyl-oxetan (Poly-BAMMO)	$(C_5H_8N_6O)_n$	587,75	2460,8	601,34	2517,7	29,73	47,57	5,95	35,68	(4); (10)
Polybutadien mit Carboxyl-Endgruppe	$(C_4H_6)_{100}C_2H_2O_4$	– 139,6	– 584,5	– 107,0	– 448,0	73,10	109,47	0,73	–	(6); (10)
Polyisobutylen	$(CH_2)_n$	– 374,5	–1567,8	– 332,2	–1391,1	71,29	142,58	–	–	(10)
Polypropylenglykol	$(C_3H_6O)_nH_2O$	– 888,1	–3718,3	– 852,3	–3568,4	51,19	103,37	17,56	–	(11)
Polyvinylnitrat	$(C_2H_3O_3N)_n$	– 298,8	–1251,2	– 275,7	–1154,5	22,46	33,68	33,68	11,23	(4)
n-Propylnitrat	$C_3H_7O_3N$	– 487,9	–2042,5	– 456,9	–1912,8	28,55	66,63	28,55	9,52	(2)
Tetranitromethan	CN_4O_8	+ 44,9	+ 187,9	+ 63,0	+ 263,8	5,10	–	40,81	20,40	
Tetryl	$C_7H_5O_8N_5$	+ 21,9	+ 91,6	+ 40,4	+ 169,3	24,40	17,40	27,86	17,40	(2)
Toluylen-2,4-diisocyanat (TDI)	$C_9H_6O_2N_2$	– 183,9	– 769,8	– 166,9	– 698,6	51,71	34,47	11,49	11,49	(12)
Trimethylaminnitrat	$C_3H_{10}O_3N_2$	– 598,6	–2506,1	– 562,2	–2353,9	24,57	81,90	24,57	16,38	(17)
Trinitroazetidin (TNAZ)	$C_3H_4O_6N_4$	+ 45,3	+ 189,5	+ 66,8	+ 279,8	15,62	20,82	31,24	20,82	(2)
Trinitrobenzol	$C_6H_3O_6N_3$	– 48,8	– 204,3	– 32,1	– 134,5	28,15	14,08	28,15	14,08	(2)
Trinitrochlorbenzol	$C_6H_2O_6N_3Cl$	+ 28,3	+ 118,4	+ 42,6	+ 178,5	24,24	8,08	24,24	12,12	Cl: 4,04 (2)
Trinitropyridin	$C_5H_2O_6N_4$	+ 88,0	+ 368,5	+ 104,6	+ 437,9	23,35	9,34	28,03	18,68	(2)
Trinitropyridin-N-oxid	$C_5H_2O_7N_4$	+ 102,5	+ 428,9	+ 119,2	+ 499,1	21,73	8,69	30,42	17,38	(2)
Trinitroresorcin	$C_6H_3O_8N_3$	– 423,9	–1774,8	– 407,6	–1704,0	24,48	12,24	32,64	12,24	(1) Bleisalz
2,4,6-Trinitrotoluol (TNT)	$C_7H_5O_6N_3$	– 70,6	– 295,5	– 52,3	– 219,1	30,82	22,01	26,40	13,20	(2)
Wasser (flüssig)	H_2O	–3792,3	–15866	–3743,0	–15661	–	111,01	55,51	–	(17)

Tabelle 18. Bildungs-Enthalpie und -Energie gasförmiger Schwadenbestandteile

	Formel	Mol-gewicht g/Mol	Bildungs-Enthalpie kcal/Mol	Bildungs-Enthalpie kJ/Mol	Bildungs-Energie kcal/Mol	Bildungs-Energie kJ/Mol
Kohlenoxid	CO	28,01	−26,42	−110,6	−26,72	−111,9
Kohlendioxid	CO_2	44,01	−94,05	−393,8	−94,05	−393,8
Wasser (dampfförm.)	H_2O	18,02	−54,79	−229,4	−54,50	−228,2
Wasser (flüssig)			−68,32	−286,1	−67,43	−282,3
Stickstoffoxid	NO	30,01	+21,57	+ 90,3	+21,57	+ 90,3
Stickstoffdioxid (Gas)	NO_2	46,01	+ 7,93	+ 33,2	+ 8,23	+ 34,5
Stickstoff	N_2	28,02	± 0	± 0	± 0	± 0
Wasserstoff	H_2	2,016	± 0	± 0	± 0	± 0
Sauerstoff	O_2	32,00	± 0	± 0	± 0	± 0
Chlorwasserstoff	HCl	36,47	−22,06	− 92,4	−22,06	− 92,4

Tabelle 19. Molzahl pro Kilogramm fester Explosionsprodukte und Inertzusätze

	Formel	Mole je kg
Aluminiumoxid	Al_2O_3	9,808
Bariumsulfat	$BaSO_4$	4,284
Calciumcarbonat	$CaCO_3$	9,991
Kieselsäure	SiO_2	16,65
Eisenoxid	Fe_2O_3	6,262
Magnesiumsulfat	$MgSO_4$	11,858
Kaliumchlorid	KCl	13,413
Natriumchlorid	NaCl	17,11
Talkum	$Mg_3(SiO_{10})(OH)_2$	2,636 (21 Atome)
Wasser*) (als Slurrykomponente)	H_2O	55,509

*) Verdampfungswärme: 555,5 kcal/kg = 2325,9 kJ/mol = 10,01 kcal/mol = 4191,2 kJ/mol

Tabelle 20. Daten der Feststoff-Explosionsprodukte

	Formel	Molekulargewicht	Bildungs-Energie		Anzahl der Atome im Molekül	molare Schmelzwärme		molare Sublimationswärme	
			kcal/mol	kJ/mol		kcal/mol	kJ/mol	kcal/mol	kJ/mol
Natriumchlorid	NaCl	58,44	− 98,97	− 414,4	2	6,73	28,2	50,3	211
Kaliumchlorid	KCl	74,56	−104,18	− 436,2	2	6,28	26,3	48,1	201
Magnesiumchlorid	$MgCl_2$	95,23	−153,22	− 641,5	3	10,3	43,1		
Natriumcarbonat	Na_2CO_3	105,99	−270,3	−1132	6	8,0	33,5		
Kaliumcarbonat	K_2CO_3	138,21	−273,93	−1147	6	7,8	32,7		
Calciumcarbonat	$CaCO_3$	100,09	−288,5	−1206,2	5				
Magnesiumcarbonat	$MgCO_3$	84,33	−266,8	−1117	5				
Bariumcarbonat	$BaCO_3$	197,37	−291,3	−1120	5				
Bleicarbonat	$PbCO_3$	267,22	−167,3	− 784,2	5				
Aluminiumoxid	Al_2O_3	101,96	−396,0	−1666	5	28,3	118	115,7 bei 2480 K	484
Eisenoxid	Fe_2O_3	159,70	−197,6	− 827,4	5	—		—	
Blei	Pb	207,21	±0	±0	1	1,21	5,07	46,34	194,0
Quecksilber	Hg	200,61	±0	±0	1	—		14,0	58,6

Tabelle 21. Molare innere Energien der Reaktionsprodukte = $c_v (T-T_o)$: mittlere spezifische Wärme mal Temperaturdifferenz gegen 25 °C ≈ 300 K

Temperatur K	CO		CO_2		H_2O		H_2		O_2		N_2		NO		C*)	
	kcal /mol	kJ /mol	kcal /mol	kJ /mol	kcal /mol	kJ /mol	kcal /mol	kJ /mol	kcal /mol	kJ /mol	kcal /mol	kJ /mol	kcal /mol	kJ /mol	kcal /mol	kJ /mol
1000	3.65	15.28	6.34	26.55	4.64	19.43	3.41	14.28	4.33	18.13	3.59	15.03	3.77	15.78	3.31	13.86
1200	4.86	20.35	8.59	35.97	6.26	26.21	4.47	18.72	5.62	23.53	4.78	20.01	5.02	21.02	4.33	18.13
1400	6.11	25.35	10.91	45.68	7.99	33.45	5.58	23.36	6.93	29.02	6.01	25.16	6.30	26.38	5.32	22.27
1500	6.75	28.26	12.10	50.66	8.89	37.22	6.14	25.71	7.58	31.74	6.64	27.80	6.95	29.10	5.88	24.62
1600	7.39	30.94	13.31	55.73	9.81	41.07	6.72	28.14	8.22	34.42	7.28	30.48	7.61	31.86	6.38	26.71
1700	8.05	33.71	14.51	60.75	10.75	45.01	7.31	30.61	8.67	36.30	7.92	33.16	8.28	34.67	6.92	28.97
1800	8.69	36.39	15.77	66.03	11.52	48.23	8.13	34.04	9.61	40.24	8.57	35.88	9.02	37.77	7.48	31.32
1900	9.34	39.11	16.94	70.92	12.43	52.04	8.64	36.17	10.17	42.58	9.20	38.52	9.66	40.44	7.95	33.27
2000	9.99	41.83	18.13	75.91	13.38	56.02	9.17	38.39	10.77	45.09	9.84	41.20	10.31	43.16	8.46	35.42
2100	10.64	44.55	19.33	80.93	14.35	60.08	9.74	40.78	11.39	47.68	10.49	43.92	10.97	45.93	8.94	37.43
2200	11.31	47.35	20.56	86.08	15.34	64.22	10.32	43.20	12.04	50.41	11.15	46.68	11.64	48.73	9.53	39.90
2300	11.98	50.16	21.81	91.31	16.36	68.49	10.92	45.72	12.71	53.21	11.81	49.44	12.31	51.54	10.10	42.28
2400	12.65	52.97	23.07	96.59	17.39	72.81	11.54	48.31	13.39	56.06	12.48	52.25	12.99	54.38	10.68	44.71
2500	13.33	55.81	24.34	101.91	18.43	77.16	12.17	50.95	14.09	58.99	13.15	55.05	13.67	57.23	11.28	47.22
2600	14.02	58.70	25.61	107.22	19.49	81.60	12.81	53.63	14.80	61.96	13.83	57.90	14.36	60.12	11.88	49.74
2700	14.70	61.55	26.90	112.63	20.56	86.08	13.47	56.39	15.52	64.98	14.51	60.75	15.06	63.05	12.50	52.33
2800	15.39	64.44	28.20	118.07	21.63	90.56	14.13	49.16	16.25	68.03	15.20	63.64	15.75	65.94	13.12	54.93
2900	16.08	67.33	29.50	123.51	22.72	95.12	14.80	61.96	17.00	71.17	15.88	66.48	16.45	68.87	13.75	57.57
3000	16.78	70.26	30.81	129.00	23.81	99.69	15.47	64.77	17.75	74.31	16.57	69.37	17.15	71.80	14.30	59.87
3100	17.47	73.15	32.12	134.48	24.91	104.29	16.16	67.66	18.50	77.45	17.26	72.26	17.85	74.73	15.04	62.97

Tabelle 21. (Fortsetzung)

Temperatur K	CO kcal /mol	CO kJ /mol	CO_2 kcal /mol	CO_2 kJ /mol	H_2O kcal /mol	H_2O kJ /mol	H_2 kcal /mol	H_2 kJ /mol	O_2 kcal /mol	O_2 kJ /mol	N_2 kcal /mol	N_2 kJ /mol	NO kcal /mol	NO kJ /mol	C*) kcal /mol	C*) kJ /mol
3200	18.17	76.08	33.44	140.01	26.02	108.94	16.84	70.50	19.26	80.64	17.96	75.19	18.56	77.71	15.69	65.69
3300	18.87	79.01	34.77	145.58	27.13	113.59	17.54	73.43	20.03	83.86	18.65	78.08	19.26	80.64	16.35	68.45
3400	19.57	81.94	36.10	151.15	28.25	118.28	18.23	76.32	20.80	87.08	19.35	81.01	19.97	83.61	17.01	71.22
3500	20.27	84.87	37.43	156.71	29.37	122.97	18.93	79.25	21.58	90.35	20.05	83.94	20.68	86.58	17.67	73.98
3600	20.97	87.86	38.76	162.28	30.50	127.70	19.64	82.23	22.37	93.66	20.74	86.83	21.39	89.55	18.34	76.78
3700	21.67	90.73	40.10	167.89	31.63	132.43	20.35	85.20	23.15	96.92	21.45	89.81	22.11	92.51	19.01	79.59
3800	22.38	93.71	41.44	173.50	32.76	137.16	21.06	88.17	23.94	100.23	22.15	92.74	22.82	95.54	19.69	82.44
3900	23.08	96.64	42.78	179.11	33.89	141.89	21.78	91.19	24.73	103.54	22.85	95.67	23.53	98.52	20.36	85.24
4000	23.79	99.61	44.13	184.77	35.03	146.67	22.49	94.16	25.53	106.89	23.55	98.60	24.25	101.53	21.04	88.09
4100	24.50	102.58	45.47	190.38	36.17	151.44	23.21	97.18	26.33	110.24	24.26	101.57	24.97	104.54	21.73	90.98
4200	25.20	105.51	46.82	196.03	37.32	156.25	23.94	100.23	27.13	113.59	24.96	104.50	25.68	107.52	22.41	93.83
4300	25.91	108.49	48.17	201.68	38.46	161.03	24.66	103.25	27.93	116.94	25.67	107.48	26.40	110.53	23.10	96.71
4400	26.62	111.46	49.52	207.34	39.61	165.84	25.39	106.30	28.74	120.33	26.37	110.41	27.12	113.55	23.79	99.60
4500	27.33	114.43	50.88	213.03	40.76	170.66	26.12	109.36	29.54	123.68	27.08	113.38	27.84	116.56	24.49	102.53
4600	28.04	117.40	52.23	218.68	41.91	175.47	26.85	112.42	30.35	127.07	27.79	116.35	28.56	119.58	25.17	105.38
4700	28.75	120.38	53.59	224.38	43.07	180.33	27.58	115.47	31.16	130.46	28.50	119.32	29.28	122.59	25.86	108.27
4800	29.46	123.35	54.95	230.07	44.22	185.14	28.31	118.53	31.98	133.90	29.21	122.30	30.00	125.61	26.56	111.20
4900	30.17	126.32	56.31	235.76	45.38	190.00	29.04	121.59	32.79	137.29	29.91	125.23	30.72	128.62	27.26	114.13
5000	30.88	129.29	57.67	241.46	46.54	194.86	29.78	124.68	33.60	140.68	30.62	128.20	31.44	131.63	27.95	117.02
5100	31.60	132.31	59.03	247.15	47.70	199.71	30.52	127.78	34.42	144.11	31.33	131.17	32.16	134.65	28.65	119.95
5200	32.31	135.28	60.39	252.85	48.86	204.57	31.25	130.84	35.24	147.54	32.04	134.15	32.89	137.71	29.35	122.88
5300	33.02	138.25	61.76	258.59	50.02	209.43	31.99	133.94	36.06	150.98	32.76	137.12	33.61	140.72	30.05	125.81

*) Im Fall von Kohlenstoffausscheidung.

Tabelle 22. Molare innere Enthalpien der Reaktionsprodukte $= c_p\,(T-T_o)$: mittlere spezifische Wärme mal Temperaturdifferenz gegen 25 °C $\approx$ 300 K

Temperatur K	CO kcal /mol	CO kJ /mol	CO_2 kcal /mol	CO_2 kJ /mol	H_2O kcal /mol	H_2O kJ /mol	H_2 kcal /mol	H_2 kJ /mol	O_2 kcal /mol	O_2 kJ /mol	N_2 kcal /mol	N_2 kJ /mol	NO kcal /mol	NO kJ /mol
700	4.99	20.89	7.68	32.16	5.98	25.04	4.75	19.89	5.22	21.85	4.93	20.64	5.11	21.39
900	6.60	27.63	10.33	43.25	8.00	33.49	6.21	26.00	6.91	28.93	6.52	27.29	6.75	28.30
1100	8.24	34.50	13.04	54.59	10.12	42.37	7.71	32.28	8.62	36.09	8.14	34.00	8.43	35.29
1200	9.08	38.01	14.43	60.41	11.22	46.98	8.47	35.46	9.49	39.73	8.97	37.55	9.28	38.86
1300	9.92	41.53	15.84	66.32	12.34	51.67	9.25	38.73	10.36	43.38	9.81	41.07	10.14	42.46
1400	10.78	45.14	17.25	72.23	13.48	56.44	10.04	42.03	11.25	47.10	10.65	44.59	11.01	46.10
1500	11.62	48.66	18.70	78.30	14.45	60.50	11.06	46.31	12.54	52.50	11.50	48.15	11.95	50.03
1600	12.47	52.21	20.07	84.03	15.56	65.15	11.77	49.28	13.30	55.69	12.33	51.63	12.79	53.55
1700	13.32	55.77	21.46	89.86	16.71	69.96	12.50	52.33	14.10	59.04	13.17	55.14	13.64	57.11
1800	14.16	59.29	22.85	95.67	17.87	74.82	13.26	55.52	14.91	62.43	14.00	58.62	14.49	60.67
1900	15.03	62.93	24.28	101.66	19.06	79.80	14.04	58.79	15.76	65.99	14.87	62.26	15.36	64.31
2000	15.81	66.20	25.73	107.73	20.29	84.91	14.84	62.14	16.63	69.63	15.73	65.86	16.23	67.96
2100	16.77	70.22	27.19	113.84	21.51	90.06	15.66	65.57	17.51	73.31	16.60	69.50	17.11	71.64
2200	17.65	73.90	28.66	120.00	22.79	95.42	16.49	69.04	18.41	77.08	17.47	73.15	17.99	75.32
2300	18.54	77.63	30.16	126.28	24.01	100.53	17.33	72.56	19.32	80.89	18.35	76.83	18.88	79.05
2400	19.42	81.31	31.62	132.39	25.28	105.85	18.19	76.16	20.24	84.74	19.23	80.52	19.78	82.82
2500	20.30	85.00	33.11	138.63	26.54	111.12	19.04	79.72	21.16	88.60	20.11	84.20	20.66	86.50
2600	21.19	88.72	34.61	144.91	27.83	116.52	19.91	83.36	22.11	92.60	20.99	87.90	21.56	90.27
2700	22.09	92.49	36.12	151.23	29.12	121.93	20.78	87.01	23.06	96.55	21.88	91.61	22.46	94.04
2800	22.98	96.22	37.63	157.56	30.42	127.37	21.67	90.73	24.01	100.53	22.77	96.34	23.36	97.81
2900	23.88	99.99	39.15	163.92	31.73	132.85	22.55	94.42	24.97	104.55	23.67	99.11	24.27	101.62
3000	24.78	103.75	40.68	170.33	33.04	138.34	23.48	98.31	25.94	108.61	24.56	102.83	25.17	105.39
3100	25.68	107.52	42.21	176.73	34.36	143.87	24.34	101.91	26.91	112.67	25.46	106.60	26.08	109.20

Tabelle 22. (Fortsetzung)

Temperatur K	CO kcal /mol	CO kJ /mol	CO_2 kcal /mol	CO_2 kJ /mol	H_2O kcal /mol	H_2O kJ /mol	H_2 kcal /mol	H_2 kJ /mol	O_2 kcal /mol	O_2 kJ /mol	N_2 kcal /mol	N_2 kJ /mol	NO kcal /mol	NO kJ /mol
3200	26.57	111.25	43.73	183.10	35.67	149.35	25.21	105.64	27.88	116.73	26.35	110.33	26.98	112.97
3300	27.47	115.02	45.26	189.50	37.00	154.92	26.14	109.45	28.87	120.88	27.24	114.05	27.89	116.78
3400	28.37	118.79	46.80	195.95	38.33	160.49	27.05	113.26	29.85	124.98	28.15	117.86	28.81	120.63
3500	29.28	122.60	48.34	202.40	39.66	166.06	27.96	117.07	30.84	129.13	29.05	121.63	29.72	124.44
3600	30.18	126.36	49.88	208.85	40.99	171.63	28.88	120.92	31.83	133.27	29.95	125.40	30.63	128.25
3700	31.09	130.17	51.43	215.34	42.33	177.24	29.79	124.73	32.83	137.46	30.85	129.17	31.55	132.10
3800	32.00	133.98	52.97	221.79	43.67	182.85	30.71	128.58	33.83	141.65	31.76	132.98	32.47	135.95
3900	32.89	137.71	54.51	228.23	45.01	188.46	31.69	132.69	34.82	145.79	32.65	136.71	33.37	139.72
4000	33.80	141.52	56.06	234.72	46.35	194.07	32.55	136.29	35.82	149.98	33.56	140.52	34.29	143.57
4100	34.71	145.33	57.61	241.21	47.70	199.72	33.48	140.18	36.83	154.21	34.46	144.28	35.21	147.42
4200	35.62	149.14	59.17	247.74	49.05	205.37	34.41	144.07	37.83	158.39	35.37	148.09	36.13	151.28
4300	36.53	152.95	60.72	254.23	50.40	211.02	35.34	147.97	38.85	162.66	36.28	151.90	37.05	155.13
4400	37.44	156.76	62.28	260.77	51.76	216.72	36.27	151.86	39.85	166.85	37.19	155.71	37.97	158.98
4500	38.35	160.57	63.84	267.30	53.11	222.37	37.20	155.76	40.78	170.75	38.10	159.52	38.89	162.83
4600	39.26	164.38	65.40	273.83	54.47	228.07	38.13	159.65	41.88	175.35	39.00	163.29	39.81	166.68
4700	40.17	168.19	66.96	280.36	55.84	233.80	39.07	163.59	42.89	179.58	39.91	167.10	40.73	170.54
4800	41.08	172.00	68.51	286.85	57.18	239.41	40.00	167.48	43.90	183.81	40.81	170.87	41.64	174.35
4900	41.99	175.81	70.07	293.38	58.54	245.11	40.93	171.37	44.92	188.08	41.72	174.68	42.57	178.24
5000	42.90	179.62	71.64	299.96	59.90	250.80	41.87	175.31	45.94	192.35	42.63	178.49	43.49	182.09

Die Werte für C können aus Tabelle 22 entnommen werden.

Tabelle 23. Gleichgewichtskonstanten

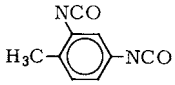
Temperature K	K_1*) = $\frac{[CO]\cdot[H_2O]}{[CO_2]\cdot[H_2]}$	$K_2 = \frac{[CO]\cdot[NO]}{[N_2]^{1/2}[CO_2]}$	K_3**) = $\frac{[CO]^2}{[CO_2]}$
1000	0.6929	$1.791 \cdot 10^{-16}$	$2.216 \cdot 10^{-3}$
1200	1.3632	$2.784 \cdot 10^{-13}$	$5.513 \cdot 10^{-2}$
1400	2.1548	$5.238 \cdot 10^{-11}$	$5.346 \cdot 10^{-1}$
1500	2.5667	$4.240 \cdot 10^{-10}$	1.317
1600	2.9802	$2.638 \cdot 10^{-9}$	2.885
1700	3.3835	$1.321 \cdot 10^{-8}$	5.744
1800	3.7803	$5.520 \cdot 10^{-8}$	10.56
1900	4.1615	$1.982 \cdot 10^{-7}$	18.15
2000	4.5270	$6.254 \cdot 10^{-7}$	29.48
2100	4.8760	$1.767 \cdot 10^{-6}$	45.61
2200	5.2046	$4.536 \cdot 10^{-6}$	67.67
2300	5.5154	$1.072 \cdot 10^{-5}$	96.83
2400	5.8070	$2.356 \cdot 10^{-5}$	134.2
2500	6.0851	$4.858 \cdot 10^{-5}$	181.0
2600	6.3413	$9.467 \cdot 10^{-5}$	238.1
2700	6.5819	$1.755 \cdot 10^{-4}$	306.5
2800	6.8075	$3.110 \cdot 10^{-4}$	387.0
2900	7.0147	$5.295 \cdot 10^{-4}$	480.2
3000	7.2127	$8.696 \cdot 10^{-4}$	586.8
3100	7.3932	$1.383 \cdot 10^{-4}$	706.9
3200	7.5607	$2.134 \cdot 10^{-3}$	841.0
3300	7.7143	$3.207 \cdot 10^{-3}$	989.1
3400	7.8607	$4.704 \cdot 10^{-3}$	1151
3500	7.9910	$6.746 \cdot 10^{-3}$	1327
3600	8.1144	$9.480 \cdot 10^{-3}$	1517
3700	8.2266	$1.307 \cdot 10^{-2}$	1720
3800	8.3310	$1.772 \cdot 10^{-2}$	1936
3900	8.4258	$2.364 \cdot 10^{-2}$	2164
4000	8.5124	$3.108 \cdot 10^{-2}$	2406
4100	8.5926	$4.030 \cdot 10^{-2}$	2656
4200	8.6634	$5.160 \cdot 10^{-2}$	2919
4300	8.7296	$6.530 \cdot 10^{-2}$	3191
4400	8.7900	$8.173 \cdot 10^{-2}$	3474
4500	8.8442	$1.013 \cdot 10^{-1}$	3765
4600	8.8888	$1.243 \cdot 10^{-1}$	4064
4700	8.9304	$1.511 \cdot 10^{-1}$	4370
4800	8.9698	$1.823 \cdot 10^{-1}$	4684
4900	9.0001	$2.181 \cdot 10^{-1}$	5003
5000	9.0312	$2.591 \cdot 10^{-1}$	5329
5100	9.0524	$3.056 \cdot 10^{-1}$	5659
5200	9.0736	$3.581 \cdot 10^{-1}$	5993
5300	9.0872	$4.171 \cdot 10^{-1}$	6331

*) Werte, entnommen aus JANAF Thermochemical Tables, The Dow Chemical Company, Midland, Michigan, 1965. Die Werte für K_2 stammen aus *Cook*, The Science of High Explosives, Chapman & Hall, London 1958.

**) Nur im Fall von Kohlenstoffausscheidung in Rechnung zu stellen.

2,4-Toluylendiisocyanat

toluylene diisocyanate; diisocyanate de toluylène; TDI



farblose Flüssigkeit
Bruttoformel: $C_9H_6N_2O_2$
Molekulargewicht: 174,1
Bildungsenergie: –166,9 kcal/kg = –698,6 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –183,9 kcal/kg = –769,8 kJ/kg
Sauerstoffwert: –174,6
Stickstoffgehalt: 16,09 %
Dichte 20/4: 1,22 g/cm^3
Schmelzpunkt: 19,5–21 °C

TDI dient als Bindekomponente zu Hydroxylgruppen (z. B. Polypropylenglykol) bei der Bildung von Polyurethan-Bindern in → Verbundtreibsätzen; siehe auch → Gießen von Treibsätzen.

Torpex

sind gießbare Mischungen aus Hexogen, Trinitrotoluol und Aluminiumpulver, z. B. 1:41:18, ϱ = 1,81 g/cm^3, Detonationsgeschwindigkeit 7600 m/s, für Bomben- und Torpedofüllungen. Torpex 2 enthält 1 % Wachszusatz. Weitere phlegmatisierte Gemische ähnlicher Zusammensetzung sind „DBX“ und „HBX“.

Tränkungssprengen

water infusion blasting; tir sous pression d'eau

verbindet die Wirkung einer Sprengladung beim Sprengen in der Kohle mit der Wirkung des Wasserdrucks, wobei gleichzeitig das Tränkwasser den Staub bindet. Das Bohrloch wird geladen, dann wird mittels sog. Stoßtränksonden Wasser in das Bohrloch gedrückt und die Ladung unter Aufrechterhaltung des Wasserdrucks gezündet. Der Druckstoß im Wasser bewirkt das Lösen der Kohle in grobstückigem Anfall.

Trauzl-Block

→ Bleiblockausbauchung

Trauzl, ein österreichischer Pionier-Offizier, schlug die Bleiblock-Methode zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit der Explosivstoffe vor, die bereits 1904 ihre erste internationale Normung erfuhr.

Treibstoff

propellant; propergol

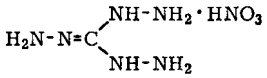
Im Gegensatz zu brisanten Sprengstoffen sind Treibstoffe solche Stoffe und Stoffgemische, welche zu einer exothermen gasentwickelnden Zersetzungsreaktion ohne Zutritt von Luftsauerstoff mit einer Geschwindigkeit fähig sind, die durch Verdichtung, Formgebung, Druckregelung während des Abbrandes (→ Abbrandgeschwindigkeit) zu einem vorausbestimmten zeitlichen Ablauf gebracht werden kann; → Schießpulver → Feststoffraketen → Verbundtreibsätze, → POL-Pulver.

Trialene

im zweiten Weltkrieg für die Füllung von Bomben und Torpedoköpfen verwendete Mischungen aus Trinitrotoluol, Hexogen und Aluminiumpulver in den Zusammensetzungen 80/10/10; 70/15/15; 60/20/20; 50/10/40 und 50/25/25.

Triaminoguanidinnitrat

triaminoguanidine nitrate; nitrate de triaminoguanidine; TAGN



weiße Kristalle
Bruttoformel: $CH_9N_7O_3$
Bildungsenergie: –33,4 kcal/kg = –139,7 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –67,0 kcal/kg = –280,6 kJ/kg
Mol.-Gew.: 167,1
Sauerstoffwert: –33,5 %
Stickstoffgehalt: 58,68 %
Normalgasvolumen: 1205 l/kg

Explosionswärme
(H_2O fl.): 943 kcal/kg = 3948 kJ/kg
(H_2O gas): 829 kcal/kg = 3470 kJ/kg
Spezif. Energie: 117,9 mt/kg = 1156 kJ/kg
Dichte: 1,5 g/cm^3
F. (Zersetzung): 216 °C
Bleiblockausbauchung: 350 cm^3
Detonationsgeschwindigkeit: 5300 m/s
bei ϱ = 0,95 g/cm^3
Verpuffungspunkt: 227 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,4 kp m = 4 Nm
Reibempfindlichkeit: ab 12 kp = 120 N
Stiftbelastung Knistern

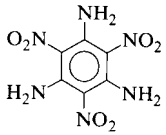
Die Synthese erfolgt durch Umsetzung von 1 Mol Guanidinnitrat mit 3 Molen Hydrazinhydrat bei 100 °C und 4 Stunden unter Ammoniakabspaltung.

Das Produkt, das sich durch hohe Molzahlen an Wasserstoff und Stickstoff auszeichnet, hat als Energieträger in → LOVA-Treibladungspulvern eine gewisse Bedeutung erlangt.

TAGN findet in LOVA-Pulvern mit hoher Leistung aber moderaten Verbrennungstemperaturen Verwendung. Es ist chemisch nicht stabil in Verbindung mit Nitratestern und einigen Übergangsmetallverbindungen, z. B. des Kupfers.

1,3,5-Triamino-2,4,6-Trinitrobenzol

triaminotrinitrobenzene; triaminotrinitrobenzène; TATB



hellgelbe Kristalle
Bruttoformel: $C_6H_6N_6O_6$
Molekulargewicht: 258,1
Bildungsenergie: –122,1 kcal/kg = –511,2 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –142,7 kcal/kg = –597,7 kJ/kg
Sauerstoffwert: –55,8 %
Stickstoffgehalt: 32,6 %
Normalgasvolumen: 1020 l/kg
Explosionswärme (H_2O fl.): 721 kcal/kg = 3020 kJ/kg
Spezif. Energie: 85,5 mt/kg = 839 kJ/kg
Dichte: 1,93 g/cm^3

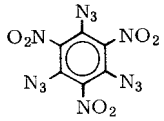
Schmelzpunkt: 350 °C = 600 °F (Zers.)
Bleiblockausbauchung: 175 cm^3/10 g
Detonationsgeschwindigkeit
(Einschluß): 7350 m/s bei ϱ = 1,80 g/cm^3
Verpuffungspunkt: 384 °C
Schlagempfindlichkeit: 5 kp m = 50 Nm
Reibempfindlichkeit: bei 36 kp = 353 N
Stiftbelastung keine Reaktion

TATB wird durch Nitrierung von Trichlorbenzol und Umsetzung des Trichlortrinitrobenzols zu TATB erhalten.

Der Stoff ist sehr unempfindlich. Direkter Kontakt zu Schwermetallen, wie z. B. Kupfer ist gefährlich.

1,3,5-Triazido-2,4,6-Trinitrobenzol

triazidotrinitrobenzene; triazidotrinitrobenzène

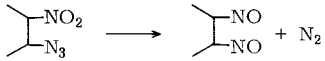


grüngelbe Kristalle
Bruttoformel: $C_6N_{12}O_6$
Mol.-Gew.: 336,2
Bildungsenergie: + 820,3 kcal/kg = +3432 kJ/kg
Bildungsenthalpie: +804,4 kcal/kg = +3366 kJ/kg
Sauerstoffwert: –28,6 %
Stickstoffgehalt: 50,0 %
Normalgasvolumen: 800 l/kg
Explosionswärme (H_2O fl.): 1360 kcal/kg = 5693 kJ/kg
Spezif. Energie: 169,9 mt/kg = 1666 kJ/kg
Dichte: 1,805 g/cm^3
F.: 131 °C (Zers.)
Bleiblockausbauchung: 470 cm^3/10 g*)
Schlagempfindlichkeit: 0,5 kp m = 5 Nm

Das Produkt entsteht durch Umsetzung von Trichlortrinitrobenzol mit Natriumazid in alkoholischer Lösung. Es hat Initialsprengstoff-Eigenschaft und ist außerdem ein kräftiger Sprengstoff.

*) errechnet aus Angaben von *O. Turek*, Chimie et Industrie **26**, 781–794 (1931).

Das Produkt unterliegt einer – zwar sehr langsamen – Umsetzung zu Hexanitrosobenzol:

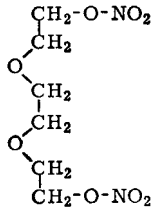


Die Gewichtsverluste betragen
bei 20 °C: nach 3 Jahren 0,67 %
bei 35 °C: nach 1 Jahr 2,4 %
bei 50 °C: nach 10 Tagen 0,65 %
nach 6 Jahren 12,6 % = 50 % Umsatz zum Hexanitrosobenzol.

Triazidotrinitrobenzol kann bei Anwendung zu hoher Drücke „totgepreßt“ werden. Das Produkt ist als bleifreier Initialsprengstoff von Interesse, allerdings wohl in erster Linie für den zivilen Anwendungsbereich (Jagd- und Sport-Munition).

Triglykoldinitrat

triethyleneglycol dinitrate; dinitrate de triéthylèneglycol; TEGN



hellgelbe Flüssigkeit
Bruttoformel: $C_6H_{12}N_2O_8$
Mol.-Gew.: 240,0
Sauerstoffwert: –66,6 %
Bildungsenergie: –576,6 kcal/kg = –2414,2 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –603,7 kcal/kg = –2527,7 kJ/kg
Stickstoffgehalt: 11,67 %
Normalgasvolumen: 1196 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 768 kcal/kg = 3216 kJ/kg
(H_2O gas): 696 kcal/kg = 2913 kJ/kg
Spezif. Energie: 89,6 mt/kg = 879 kJ/kg
Dichte: 1,335 g/cm^3
Bleiblockausbauchung: 320 cm^3/10 g
Verpuffungspunkt: 195 °C
Schlagempfindlichkeit: 1,3 kp m = 13 Nm
Reibempfindlichkeit: bis 36 kp = 353 N keine Reaktion

Triglykoldinitrat ist weniger flüchtig als Diglykoldinitrat. Es gelatiniert Nitrocellulose ebenso gut wie Diglykoldinitrat, d. h. besser als Nitroglycerin.

Die chemische Stabilität ist besser als die von Nitroglycerin und von Nitrocellulose und ist mindestens so gut wie die von Diglykoldinitrat.

Triglykoldinitrat wird beim Nitrieren von Triglykol mit Mischsäure erhalten. Die Löslichkeit des Triglykoldinitrats in der Abfallsäure ist sehr hoch (8–9 %). Wegen der niedrigen Explosionswärme ist Triglykoldinitrat zur Herstellung von „kalten Pulvern" und zusammen mit Metrioltrinitrat für sogenannte Tropenpulver besonders geeignet.

In niedrigprozentiger Zugabe vermag Triglykoldinitrat Ethylalkohol (in Brasilien als „Treibstoff aus Bio-Masse" verwendet) kompressionsempfindlich („Diesel-fähig") zu machen.

Triglykol (Ausgangsmaterial):

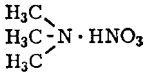
Bruttoformel: $C_6H_{14}O_4$
Molekulargewicht: 150,2
Siedepunkt: 287,4 °C
Refraktion 20/D: 1,4559
Dichte 20/4: 1,1233 g/cm^3
Viskosität bei 20 °C: 47,8 cP

Technische Reinheitsforderungen

Dichte 20/4:	1,1230 g/cm^3 1,1234 g/cm^3
Siedeanalyse; Beginn: nicht vor	280 °C
90 % destilliert: nicht über	295 °C
Feuchtigkeit: nicht über	0,5 %
Chloride:	nur Spuren
Säure als H_2SO_4: nicht über	0,02 %
Verseifungswert als Na_2O: nicht über	0,05 %
reduzierende Bestandteile ($AgNO_3$ –NH_3-Test):	keine

Trimethylaminnitrat

trimethylamine nitrate; nitrate de triméthylamine



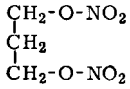
Bruttoformel: $C_3H_{10}N_2O_3$
Mol.-Gew.: 122,1
Sauerstoffwert: –104,8 %
Bildungsenergie: –562,2 kcal/kg = –2353,9 kJ/kg

Bildungsenthalpie: –598 kcal/kg = –2506,1 kJ/kg
Stickstoffgehalt: 22,95 %
Normalgasvolumen: 1284 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 569 kcal/kg = 2383 kJ/kg
(H_2O gas): 502 kcal/kg = 2105 kJ/kg
Spezif. Energie: 75,3 mt/kg = 739 kJ/kg

Dieses Salz ist wie andere Methylaminnitrate als Komponente für gießbare und schlammförmige Sprengstoffmischungen vorgeschlagen worden (→ „Sprengschlamm“).

Trimethylenglykoldinitrat

trimethyleneglycol dinitrate; dinitrate de triméthylèneglycol



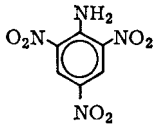
wasserhelle, ölige Flüssigkeit
Bruttoformel: $C_3H_6N_2O_6$
Mol.-Gew.: 166,1
Sauerstoffwert: –28,9 %
Stickstoffgehalt: 16,87 %
Dichte: 1,393 g/cm^3 (20/4)
Kp. (bei 10 mm Hg): 108 °C
Bleiblockausbauchung: 540 cm^3/10 g
Verpuffungspunkt (Zersetzung ab 185 °C): 225 °C
Schlagempfindlichkeit: bis 2 kp m keine Reaktion

Trimethylenglykoldinitrat ist weniger flüchtig als Nitroglykol, aber flüchtiger als Nitroglycerin. Es zeigt etwa die gleichen Löslichkeitseigenschaften wie Nitroglycerin und bildet wie dieses eine gute Gelatine mit Nitrocellulose. Es verursacht Kopfschmerz.

Trimethylenglykoldinitrat wird hergestellt durch Nitrierung von Trimethylenglykol mit Salpetersäure oder Mischsäure bei einer Temperatur von 0–10 °C. Es ist weniger schlagempfindlich als Nitroglycerin und wesentlich lagerbeständiger als dieses.

Trinitroanilin

trinitroaniline; trinitraniline; picramide; Picramid; TNA

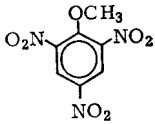


orangerote Kristalle
Bruttoformel: $C_6H_4N_4O_6$
Mol.-Gew.: 228,1
Bildungsenergie: –59,9 kcal/kg = 250,6 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –78,0 kcal/kg = –326,5 kJ/kg
Sauerstoffwert: –56,1 %
Stickstoffgehalt: 24,56 %
Normalgasvolumen: 972 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 858 kcal/kg = 3592 kJ/kg
(H_2O gas): 835 kcal/kg = 3498 kJ/kg
Spezif. Energie: 99,1 mt/kg = 972 kJ/kg
Dichte: 1,76 g/cm^3
F.: 188 °C
Bleiblockausbauchung: 310 cm^3/10 g
Detonationsgeschwindigkeit:
7300 m/s bei ϱ = 1,72 g/cm^3
Verpuffungspunkt: 346 °C
Schlagempfindlichkeit: 1,5 kp m = 15 Nm
Reibempfindlichkeit: bis 36 kp = 353 N Stiftbelastung
keine Reaktion
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest: 3,5 mm

Die Herstellung erfolgt durch Umsetzung von Trinitrochlorbenzol mit Ammoniak oder durch Nitrierung von p-Nitroanilin.

Trinitroanisol

methylpicrate; trinitroanisol; 2,4,6-Trinitrophenylmethylether; Pikrinsäuremethylether; Methoxytrinitrobenzol; Trisol; Trinol; Nitrolit



weiße bis hellgelbe Kristalle
Bruttoformel: $C_7H_5N_3O_7$

Mol.-Gew.: 243,0
Bildungsenergie: –136,5 kcal/kg = 571,5 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –154,8 kcal/kg = 648,0 kJ/kg
Sauerstoffwert: –62,5 %
Stickstoffgehalt: 17,29 %
Normalgasvolumen: 1001 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 887 kcal/kg = 3715 kJ/kg
(H_2O gas): 860 kcal/kg = 3601 kJ/kg
Spezif. Energie: 98,7 mt/kg = 968 kJ/kg
Dichte: 1,61 g/cm^3
F.: 67–68 °C
Bleiblockausbauchung: 295 cm^3/10 g
Detonationsgeschwindigkeit:
6800 m/s bei ϱ = 1,58 g/cm^3
Verpuffungspunkt: 285 °C
Schlagempfindlichkeit: 2,0 kp m = 20 Nm
Reibempfindlichkeit: bis 36 kp = 353 N Stiftbelastung
keine Reaktion
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest: 12 mm

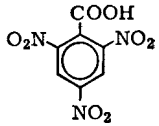
Trinitroanisol ist nicht löslich in Wasser, löslich in heißem Alkohol und Ether. Es ist giftig.

Trinitroanisol wird aus Dinitrochlorbenzol durch Behandeln mit Methylalkohol und Alkali und Weiternitrierung des so gewonnenen Dinitroanisols hergestellt. Umkristallisiert aus Methylalkohol erhält man das reine, schwachgelb gefärbte Produkt.

Es gehört zu den unempfindlichsten, schocksichersten Sprengstoffen. Seine Wirkung liegt zwischen der des Trinitrotoluols und der Pikrinsäure. Mit Hexanitrodiphenylsulfid gemischt hat Trinitroanisol als Bombensprengstoff Verwendung gefunden. Es ruft leicht Hautekzeme hervor und ist physiologisch nicht ungefährlich. Dies und sein niedriger Schmelzpunkt haben das Produkt in den Hintergrund treten lassen.

Trinitrobenzoesäure

trinitrobenzoic acid; acide trinitrobenzoique



gelbe Nadelkristalle
Bruttoformel: $C_7H_3N_3O_8$
Mol.-Gew.: 257,1

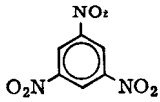
Bildungsenergie: –358,4 kcal/kg = –1500,6 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –374,5 kcal/kg = –1568,1 kJ/kg
Sauerstoffwert: –46,7 %
Stickstoffgehalt: 16,35 %
Normalgasvolumen: 872 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 709 kcal/kg = 2969 kJ/kg
(H_2O gas): 691 kcal/kg = 2894 kJ/kg
Spezif. Energie: 88,8 mt/kg = 871 kJ/kg
F.: 229 °C
Bleiblockausbauchung: 283 cm^3/10 g
Schlagempfindlichkeit: 1 kp m = 10 Nm
Reibempfindlichkeit: bis 36 kp = 353 N Stiftbelastung
keine Reaktion
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest: 2 mm

Trinitrobenzoesäure ist etwas löslich in Wasser, löslich in Alkohol und Ether. Trinitrobenzoesäure wird durch Oxidation von Trinitrotoluol mit Salpetersäure oder mit salpetersaurer $KClO_3$-Lösung oder mit Chromschwefelsäure hergestellt.

Zur Reinigung wird das Rohprodukt in verdünnter Sodalösung aufgelöst und mit Schwefelsäure wieder ausgefällt. Bei längerer Behandlung mit Wasserdampf entsteht aus Trinitrobenzoesäure unter CO_2-Abspaltung → Trinitrobenzol.

1,3,5-Trinitrobenzol

trinitrobenzene; trinitrobenzène; Benzit; TNB



hellgrüngelbe Kristalle
Bruttoformel: $C_6H_3N_3O_6$
Mol.-Gew.: 213,1
Bildungsenergie: –32,1 kcal/kg = 134,5 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –48,8 kcal/kg = –204,3 kJ/kg
Sauerstoffwert: –56,3 %
Stickstoffgehalt: 19,72 %
Normalgasvolumen: 939 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 938 kcal/kg = 3927 kJ/kg
(H_2O gas): 918 kcal/kg = 3845 kJ/kg
Spezif. Energie: 107,1 mt/kg = 1051 kJ/kg

Dichte: 1,68 g/cm^3
F.: 123,2 °C
Schmelzwärme: 16,0 kcal/kg = 67,2 kJ/kg

Dampfdruck:

Millibar	Temperatur °C
0,5	122
2	150
14	200
133	270

Bleiblockausbauchung: 325 cm^3/10 g
Detonationsgeschwindigkeit:
bei ϱ = 1,60 g/cm^3: 7300 m/s
Schlagempfindlichkeit: 0,75 kp m = 7,4 Nm
Reibempfindlichkeit: bis 36 kp = 355 N Stiftbelastung
keine Reaktion

Trinitrobenzol ist unlöslich in Wasser, wenig löslich in heißem Alkohol, leicht löslich in Aceton, Ether und Benzol.

Trinitrobenzol entsteht durch Decarboxylierung aus Trinitrobenzoesäure. Man kann es auch aus Trinitrochlorbenzol durch Reduktion mit Kupfer in heißem Wasser oder Alkohol darstellen. Auch die Weiternitrierung des Dinitrobenzols führt zum Trinitrobenzol, läßt sich jedoch nur unter schärfsten Bedingungen (hohe SO_3-Konzentration in der Mischsäure, hohe Nitriertemperatur) und mit geringen Ausbeuten erzwingen.

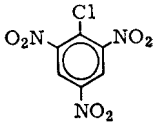
Alle Verfahren sind schwierig durchzuführen und wenig wirtschaftlich. Daher hat das Trinitrobenzol, obwohl es das Trinitrotoluol an Sprengkraft und Detonationsgeschwindigkeit übertrifft und sehr stabil ist, bisher noch keine praktische Verwendung gefunden.

Technische Reinheitsforderungen

Erstarrungspunkt: nicht unter	121 °C
Feuchtigkeit und flüchtige Bestandteile: nicht über	0,1 %
Glührückstand: nicht über	0,2 %
Benzol-unlösliches: nicht über	0,2 %
HNO_3:	nur Spuren
Sulfate als H_2SO_4: nicht über	0,02 %
Säure, als H_2SO_4: nicht über	0,005 %
Alkali:	0
Abel-Test bei 80 °C: nicht unter	30 min

Trinitrochlorbenzol

trinitrochlorobenzene; trinitrochlorobenzène; chlorure de picryle; Picrylchlorid



hellgelbe Kristallnadeln
Bruttoformel: $C_6H_2N_3O_6Cl$
Mol.-Gew.: 247,5
Bildungsenergie: +42,6 kcal/kg = +178,5 kJ/kg
Bildungsenthalpie: +28,3 kcal/kg = +118,4 kJ/kg
Sauerstoffwert: −45,3 %
Stickstoffgehalt: 16,98 %
Dichte: 1,797 g/cm^3
F.: 83 °C
Schmelzwärme: 17,5 kcal/kg = 73,3 kJ/kg

Dampfdruck:

Millibar	Temperatur °C
0,05	83
0,2	100
2,0	150
12,5	200
100	270

Bleiblockausbauchung: 315 cm^3/10 g
Detonationsgeschwindigkeit:
7200 m/s bei ϱ = 1,76 g/cm^3
Verpuffungspunkt: 395−397 °C
Schlagempfindlichkeit: 1,6 kp m = 16 Nm
Reibempfindlichkeit: bis 36 kp = 355 N Stiftbelastung keine Reaktion

Trinitrochlorbenzol ist wenig löslich in Alkohol und Benzol, etwas mehr löslich in Ether, unlöslich in Wasser.

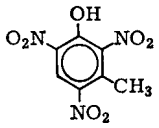
Man gewinnt Trinitrochlorbenzol aus Dinitrochlorbenzol durch Nitrierung. Die Herstellung ist schwierig und bedarf des Einsatzes höchstkonzentrierter Säuren (60 %igen Oleums und 98 %iger Salpetersäure).

Trinitrochlorbenzol ist auch durch die Umsetzung von Pyridinpikrat mit $POCl_3$ auf dem Wasserbad darstellbar.

Trinitrochlorbenzol ist ebenso unempfindlich wie Trinitrotoluol, ist ihm an Brisanz sogar überlegen, trotzdem fand die Verbindung wenig Eingang in die Praxis, obgleich Dichte und die thermische Stabilität interessante Zahlen zeigen.

2,4,6-Trinitrokresol

trinitrometacresol; 2,4,6-trinitrométacrésol; crésylithe; Kresylith



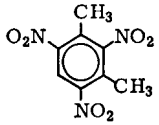
gelbe Nadeln
Bruttoformel: $C_7H_5N_3O_7$
Mol.-Gew.: 243,1
Bildungsenergie: –233,3 kcal/kg = –976,7 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –251,5 kcal/kg = –1053,2 kJ/kg
Sauerstoffwert: –62,52 %
Stickstoffgehalt: 17,95 %
Normalgasvolumen: 996 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 791 kcal/kg = 3310 kJ/kg
(H_2O gas): 763 kcal/kg = 3196 kJ/kg
Spezif. Energie: 87,4 mt/kg = 857 kJ/kg
Dichte: 1,68 g/cm^3
Bleiblockausbauchung: 285 cm^3/10 g
Detonationsgeschwindigkeit:
6850 m/s bei ϱ = 1,65 g/cm^3
Verpuffungspunkt: 150 °C
Schlagempfindlichkeit: 1,2 kp m = 12 Nm

Trinitrokresol ist in Alkohol, Ether und Aceton leicht, in Wasser schwer löslich.

Man stellt Trinitrokresol durch Nitrierung der m-Kresoldisulfonsäure her. Während des ersten Weltkrieges wurden als Kresylit Mischungen aus Trinitrokresol und Pikrinsäure (60/40) als Granatfüllungen eingesetzt, da diese Gemische schon bei 85 °C flüssig werden.

2,4,6-Trinitro-m-xylol

trinitroxylene; trinitrometaxylène; TNX



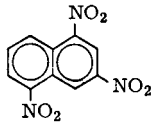
farblose Kristallnadeln
Bruttoformel: $C_8H_7N_3O_6$
Mol.-Gew.: 241,2
Bildungsenergie: –82,1 kcal/kg = –343,6 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –101,7 kcal/kg = –425,9 kJ/kg
Sauerstoffwert: –89,57 %
Stickstoffgehalt: 17,42 %
Normalgasvolumen: 994 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 833 kcal/kg = 3489 kJ/kg
(H_2O gas): 802 kcal/kg = 3356 kJ/kg
Spezif. Energie: 83,5 mt/kg = 819 kJ/kg
F.: 182 °C

Die Trennung der Isomeren des Xylols ist nicht einfach, auch die vollständige Nitrierung zur Tristufe ist technisch schwierig, man begnügt sich daher meist mit einem Produkt, das nur 85 % Trinitro-m-xylol enthält.

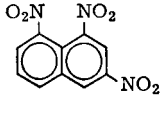
Trinitro-m-xylol wurde im ersten Weltkrieg als Zusatz zu Trinitrotoluol (40/60) für Granatfüllungen verwendet.

Trinitronaphthalin

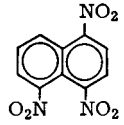
trinitronaphthalene; trinitronaphthalène; Naphtit; Trinal



α-



β-



γ-

bräunliche Kristalle
Bruttoformel: $C_{10}H_5N_3O_6$
Mol.-Gew.: 263,2
Sauerstoffwert: –100,3 %
Stickstoffgehalt: 15,97 %
Normalgasvolumen: 840 l/kg
Spezif. Energie: 76,9 mt/kg = 755 kJ/kg

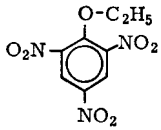
F. (Isomerengemisch): erweicht ab 115 °C
Bleiblockausbauchung: 175 cm^3/10 g
Verpuffungspunkt: 350 °C
Schlagempfindlichkeit: 2 kp m = 19 Nm

Trinitronaphthalin ist löslich in Eisessig, wenig löslich in Alkohol und Ether. Trinitronaphthalin wird durch Lösen von Mononitronaphthalin in konzentrierter Schwefelsäure und Zusatz von Mischsäure hergestellt. Man erhält so ein ab 115 °C schmelzendes Gemisch der Isomeren, 1,3,5-(α); 1,3,8-(β) und 1,4,5-(γ).

Trinitronaphthalin ist ein schwer detonierbarer Sprengstoff. Es hat im Gemisch mit anderen Nitrokörpern Anwendung als Granatfüllung gefunden, vor allem in Frankreich und Belgien. Heute wird es praktisch nicht mehr eingesetzt.

2,4,6-Trinitrophenetol

ethylpicrate; 2,4,6-trinitrophénétol; Ethylpikrat

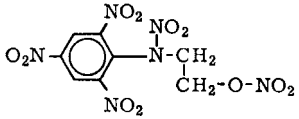


blaßgelbe Nadeln
Bruttoformel: $C_8H_7N_3O_7$
Mol.-Gew.: 257,2
Bildungsenergie: –170,5 kcal/kg = –714,0 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –190,1 kcal/kg = –796,0 kJ/kg
Sauerstoffwert: –77,8 %
Stickstoffgehalt: 16,34 %
Normalgasvolumen: 1020 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 828 kcal/kg = 3467 kJ/kg
(H_2O gas): 796 kcal/kg = 3331 kJ/kg
Spezif. Energie: 86,4 mt/kg = 847 kJ/kg
F.: 78 °C

Man stellt es in analoger Weise wie → Trinitroanisol her.

Trinitrophenylethanolnitraminnitrat

2,4,6-trinitrophenylnitraminoethylnitrate; nitrate de trinitrophenyl-nitramineéthyl; Pentryl



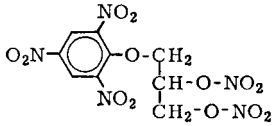
gelblich-weiße Kristalle
Bruttoformel: $C_8H_6N_6O_{11}$
Mol.-Gew.: 362,2
Sauerstoffwert: –35,4 %
Stickstoffgehalt: 23,19 %
Dichte: 1,75 g/cm^3
F.: 128 °C
Bleiblockausbauchung: 450 cm^3/10 g
Verpuffungspunkt: 235 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,4 kp m = 4 Nm

Es ist in Wasser unlöslich, leicht löslich in den meisten gebräuchlichen organischen Lösungsmitteln und löslich in Nitroglycerin. Seine Beständigkeit ist gut, allerdings ist eine der fünf Nitrogruppen als Salpetersäureester eingebaut; die Verbindung kann daher nicht so stabil wie ein Nitrokörper sein.

Die Verbindung wird durch Nitrierung des Phenylglycerinethers oder seiner niederen Nitrierungsprodukte mit Salpetersäure/Schwefelsäure gewonnen.

Trinitrophenylglycerinetherdinitrat

glyceroltrinitrophenyletherdinitrate; dinitrate de trinitrophenyl-glycérineéther



gelbliche, lichtempfindliche Kristalle
Bruttoformel: $C_9H_7N_5O_{13}$
Mol.-Gew.: 393,2
Sauerstoffwert: –52,9 %
Stickstoffgehalt: 17,81 %
F.: 128,5 °C
Bleiblockausbauchung: 420 cm^3/10 g

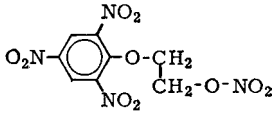
Verpuffungspunkt: 200–205 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,4 kp m = 4 Nm

Trinitrophenylglycerinetherdinitrat ist unlöslich in Wasser, leicht löslich in Aceton und gelatiniert Nitrocellulose nicht.

Die Verbindung wird durch Nitrierung des Phenylglycerinethers oder seiner niederen Nitrierungsprodukte mit Salpetersäure/Schwefelsäure gewonnen.

Trinitrophenylglykolethernitrat

trinitrophenoxyethylnitrate; nitrate de trinitrophénoxéthyle; Trinitrophenoxyethylnitrat



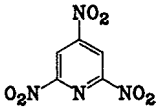
gelblich-weiße Kristalle
Bruttoformel: $C_8H_6N_4O_{10}$
Mol.-Gew.: 318,2
Bildungsenergie: –189,8 kcal/kg = –794,6 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –208,4 kcal/kg = –872,5 kJ/kg
Sauerstoffwert: –45,3 %
Stickstoffgehalt: 17,61 %
Normalgasvolumen: 918 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 933 kcal/kg = 3907 kJ/kg
(H_2O gas): 905 kcal/kg = 3789 kJ/kg
Spezif. Energie: 115,3 mt/kg = 1131 kJ/kg
Dichte: 1,68 g/cm^3
F.: 104,5 °C
Bleiblockausbauchung: 350 cm^3/10 g
Detonationsgeschwindigkeit:
7600 m/s bei ϱ = 1,65 g/cm^3
Verpuffungspunkt: über 300 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,8 kp m = 7,9 Nm

Es ist unlöslich in Wasser, löslich in Aceton und Toluol. Trinitrophenylglykolethernitrat ist sehr stabil und gelatiniert Nitrocellulose in der Wärme.

Man erhält Trinitrophenylglykolethernitrat durch Nitrierung der entsprechenden Dinitroverbindung mit Salpetersäure/Schwefelsäure-Gemisch.

Trinitropyridin

Trinitropyridine



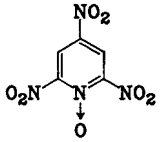
gelbe Nadeln
Bruttoformel: $C_5H_2N_4O_6$
Mol.-Gew.: 214,1
Bildungsenergie: +104,7 kcal/kg = +438,1 kJ/kg
Bildungsenthalpie: +88,1 kcal/kg = +368,6 kJ/kg
Sauerstoffwert: –37,4 %
Stickstoffgehalt: 26,17 %
Normalgasvolumen: 846 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1047 kcal/kg = 4385 kJ/kg
(H_2O gas): 1034 kcal/kg = 4327 kJ/kg
Spezif. Energie: 128,5 mt/kg = 1260 kJ/kg
F.: ab 162 °C (Sublimation)
Dichte: 1,77 g/cm^3
Detonationsgeschwindigkeit: 7470 m/s
bei ϱ = 1,66 g/cm^3
Schlagempfindlichkeit: 4,5–6,5 Nm = 0,46–0,66 kpm
Reibempfindlichkeit: bis 353 N = 36 kp Stiftbelastung
keine Reaktion

Trinitropyridin wird durch die Reduktion von → Trinitropyridin-N-oxyd mit Natriumnitrit in schwefelsaurer Lösung erhalten.

Die Verbindung ist ein leistungsstarker Sprengstoff, doch hat sie einen größeren Eingang in die Praxis bisher nicht gefunden.

Trinitropyridin-N-oxid

Trinitropyridine-N-oxide



gelbe Kristalle
Bruttoformel: $C_5H_2N_4O_7$
Mol.-Gew.: 230,1
Bildungsenergie: +499,1 kJ/kg = +119,2 kcal/kg

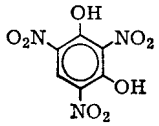
Bildungsenthalpie: +428,9 kJ/kg = +102,5 kcal/kg
Sauerstoffwert: –27,8 %
Stickstoffgehalt: 24,34 %
Normalgasvolumen: 806 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 1271 kcal/kg = 5323 kJ/kg
(H_2O gas): 1249 kcal/kg = 5229 kJ/kg
Spezif. Energie: 134,1 mt/kg = 1315 kJ/kg
F.: 170 °C (Zersetzung)
Dichte: 1,86 g/cm^3
Detonationsgeschwindigkeit: 7770 m/s bei
ϱ = 1,72 g/cm^3
Schlagempfindlichkeit: 1,5–3,0 Nm = 0,15–0,31 kpm
Reibempfindlichkeit: 157 N = 16 kp

Trinitropyridin-N-oxyd wird über eine Zyklisierungsreaktion aus dem Kalium-Salz des Dinitroethanols in verdünnter Phosphorsäure hergestellt.

Das Produkt dient als Ausgangsmaterial für die Herstellung von → Trinitropyridin, das durch die direkte Nitrierung nicht darstellbar ist.

Trinitroresorcin

trinitroresorcinol; styphnic acid; trinitrorésorcinol; acide styphnique; 2,4,6-Trinitro- 1,3-dioxybenzol; Styphninsäure; Oxypikrinsäure; Tricin; Trizin



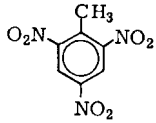
gelbbraune bis rotbraune Kristalle
Bruttoformel: $C_6H_3N_3O_8$
Mol.-Gew.: 245,1
Bildungsenergie: –407,0 kcal/kg = –1704,0 kJ/kg
Bildungsenthalpie: –423,9 kcal/kg = –1774,8 kJ/kg
Sauerstoffwert: –35,9 %
Stickstoffgehalt: 17,15 %
Normalgasvolumen: 824 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 791 kcal/kg = 3312 kJ/kg
(H_2O gas): 765 kcal/kg = 3204 kJ/kg
Spezif. Energie: 97,7 mt/kg = 959 kJ/kg
Dichte: 1,83 g/cm^3
F.: 176 °C

Bleiblockausbauchung: 284 cm^3/10 g
Verpuffungspunkt: 257 °C
Schlagempfindlichkeit: 0,75 kp m = 7,4 Nm
Reibempfindlichkeit: bis 36 kp = 353 N Stiftbelastung
keine Reaktion
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest: 14 mm

Trinitroresorcin wird unter Rühren in einem heiz- und kühlbaren Reaktionsgefäß durch Auflösen von Resorcin in konz. Schwefelsäure und anschließendes Nitrieren der schwefelsauren Resorcindisulfosäurelösung mit konz. Salpetersäure hergestellt. Es ist ein relativ schwacher Sprengstoff. Technische Verwendung findet sein Bleisalz (→ Bleitrinitroresorcinat) als Initialsprengstoff.

2,4,6-Trinitrotoluol

trinitrotoluene; trinitrotoluène; Trotyl; Trilite; Tolit; Tutol; Triton; Tri; Füllpulver 02; TNT



schwach gelbliche Kristalle oder Schuppen
Bruttoformel: $C_7H_5N_3O_6$
Mol.-Gew.: 227,1
Bildungsenergie: −52,3 kcal/kg = −219,1 kJ/kg
Bildungsenthalpie: −70,6 kcal/kg = −295,5 kJ/kg
Sauerstoffwert: −73,9 %
Stickstoffgehalt: 18,50 %
Normalgasvolumen: 975 l/kg
Explosionswärme
(H_2O fl.): 890 kcal/kg = 3725 kJ/kg
(H_2O gas): 863 kcal/kg = 3612 kJ/kg
Spezif. Energie: 92,6 mt/kg = 908 kJ/kg
Dichte, Kristall: 1,64 g/cm^3
geschmolzen: 1,47 g/cm^3
Erstarrungspunkt: 80,8 °C
Schmelzwärme: 23,1 kcal/kg = 96,6 kJ/kg
spezifische Wärme: 0,331 kcal/kg = 1,38 kJ/kg

Dampfdruck:

Millibar	Temperatur °C
0,057	81
0,14	100
4	150
14	200
86,5	250

Bleiblockausbauchung: 300 cm^3/10 g
Detonationsgeschwindigkeit:
6900 m/s bei ϱ = 1,60 g/cm^3
Verpuffungspunkt: 300 °C
Schlagempfindlichkeit: 1,5 kp m = 15 Nm
Reibempfindlichkeit: bis 36 kp = 353 N Stiftbelastung keine Reaktion
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest: 5 mm

Trinitrotoluol ist nahezu unlöslich in Wasser, schwer löslich in Alkohol, löslich in Benzol, Toluol, Aceton.

Es ist sehr stabil, reagiert neutral und greift Metalle nicht an.

Trinitrotoluol wird durch Nitrierung von Toluol in mehreren Stufen mit Salpetersäure/Schwefelsäure hergestellt. Die einzelnen Stufennitrierungen können kontinuierlich oder diskontinuierlich durchgeführt werden. Das Rohprodukt wird in heißem Wasser mehrfach gewaschen. Zur Trennung von Isomeren und Oxidationsprodukten kann man eine Wäsche mit Natriumsulfitlösung vornehmen, wobei die Nebenprodukte von der Waschflüssigkeit unter Bildung tiefrot gefärbter Verbindungen aufgenommen werden. Das Rohprodukt kann durch Umkristallisieren aus Alkohol, Toluol, Benzol oder auch aus 62 %iger Salpetersäure gereinigt werden.

Zur Bestimmung des Reinheitsgrades wird der Erstarrungspunkt anstelle des Schmelzpunktes zugrunde gelegt, er läßt sich auf zehntel Grade genau feststellen. Für militärische Zwecke wird ein Erstarrungspunkt des Trinitrotoluols von mindestens 80,2 °C verlangt. Reinstes Trinitrotoluol erstarrt bei 80,8 °C. Trinitrotoluol ist infolge seiner guten Sprengkraft und Brisanz, wegen seiner Gießbarkeit in günstigem Temperaturbereich und wegen seiner Handhabungssicherheit der am meisten gebrauchte militärische Sprengstoff. Gegossenes Trinitrotoluol wird durch eine Sprengkapsel nicht sicher gezündet, es bedarf einer gepreßten Verstärkerladung.

In gepreßtem oder gegossenem Zustande wird Trinitrotoluol zum Füllen von Granaten, Minen und Torpedos verwendet. Außerdem ist es

ein wesentlicher Bestandteil der gewerblichen Sprengstoffe. Man verwendet es schließlich auch als Zusatz zu rauchschwachen Schießpulvern.

Technische Reinheitsforderungen

Aussehen:		hellgelbe Schuppen oder Kristalle
Erstarrungspunkt, je nach Güteklasse	mindestens	80,6 °C 80,4 °C 80,2 °C
für gewerbl. Sprengstoffe		auch darunter
Tetranitromethan:		0
flüchtige Bestandteile: nicht über		0,1 %
Säure als H_2SO_4: nicht über		0,005 %
Alkali als Na_2CO_3: nicht über		0,001 %
Benzolunlösliches: nicht über		0,05 %
Asche: nicht über		0,01 %

Dazu können weitere Forderungen treten, wie die Limitierung von Kaltwasser-löslichen organischen Bestandteilen in Wasser, das unter Sieden mit dem Prüfmuster TNT behandelt, abgekühlt und filtriert wurde („Permanganat-Test“) und das Verhalten von Preßkörpern in bezug auf exsudierende Bestandteile bei 70 °C (→ Ausschwitzen, Fleckprobe).

Tabelle 24. Daten für die nicht-symmetrischen TNT-Isomere

TNT-Isomere	Schmelzpunkt °C	Schmelzwärme kcal/kg	kJ/kg	Zersetzungsbeginn °C
2,3,4-	112	25,8	108	282
2,3,5-	97	20,3	85	283
2,3,6-	108	24,9	104	280
2,4,5-	104	26,3	110	262
3,4,5-	132	21,2	89	288

TNT-Isomere	Bildungsenergie kcal/kg	kJ/kg	Bildungsenthalpie kcal/kg	kJ/kg
2,3,4-	+34,1	+143	+15,9	+ 67
2,3,5-	– 6,0	– 25	–24,2	–101
2,3,6-	+ 0,6	+ 3	–17,6	– 74
2,4,5-	+ 1,9	+ 8	–16,3	– 68
3,4,5-	+12,9	+ 54	– 5,3	– 22

Tritonal

ist eine gießbare Mischung aus 20–40 % Aluminium und 80–60 % Trinitrotoluol.

Trixogen

eine Mischung von Trinitrotoluol-Hexogen.

Übertragung

→ Detonationsübertragung.

Ummantelte Sprengstoffe

sheathed explosives; explosifs gainés

Diese, zur Zeit in der BRD nicht mehr verwendeten Wettersprengstoffe bestanden aus einem Kern-Sprengstoff, der durch einen „kühlenden" Mantel zur Erzielung erhöhter Wettersicherheit (→ Wettersprengstoffe) umhüllt war. Es wurden inerte und „aktive" Mäntel verwendet; die aktiven Mäntel bestanden aus einem gut übertragenden „Mantelsprengstoff" aus ca. 90 % inerten Salzen, wie Natriumbikarbonat oder Natriumchlorid, und 10 % → Sprengöl. In der Bundesrepublik wurden die ummantelten Wettersprengstoffe durch Salzpaar-Sprengstoffe, in England durch e. q. s. (equal sheathed explosives) abgelöst.

Unterwasserdetonationen*)

underwater detonations; détonations sous l'eau

Bei der zerstörenden Wirkung von Unterwassersprengungen muß zwischen Fern- und Nahwirkung unterschieden werden. Während die erstere allein auf der Wirkung der Druckstoßwelle beruht, ist die letztere überwiegend dem Schub, den die expandierende Gasblase erzeugt, zuzuschreiben.

Grundsätzlich kann man den Vorgang bei einer Unterwassersprengung in 3 Abschnitte gliedern:

*) Diese Ausführungen sind ein teilweiser Auszug aus einem von *W. E. Nolle*, Erprobungsstelle 71 der Bundeswehr, Eckernförde, 1973, in Karlsruhe gehaltenen Vortrag.

1. Detonation

Die durch Zündung ausgelöste Detonation eines Sprengkörpers. Hierbei handelt es sich um einen mit großer Geschwindigkeit ablaufenden chemischen Zerfall des Sprengstoffes, wobei sich unter starker Wärmeentwicklung eine große Gasmenge bildet, die zunächst den kleinen, vom festen Sprengstoff vorher eingenommenen Raum ausfüllt und daher unter hohem Druck steht. Diese heiße zusammengepreßte Gasmenge trägt die gesamte arbeitsfähige Energie.

2. Druckwelle

Unter dem Einfluß dieses hohen Druckes wird die angrenzende Wasserschicht zusammengedrückt, drückt selbst auf die Nachbarschicht, diese wieder auf die nächste und so fort. Da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit mit dem Druck steigt, steilt die Druckfront auf, was der Druckwelle unter Wasser den Charakter einer Stoßwelle gibt. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist am Anfang höher als die Schallgeschwindigkeit und klingt mit zunehmender Entfernung zur Schallgeschwindigkeit, d. h. auf ca. 1450 m/s ab.

Der Maximaldruck ist in erster Näherung der 3. Wurzel aus dem Ladungsgewicht direkt proportional und klingt umgekehrt proportional zur Entfernung ab, so daß sich folgende Näherungsformel ergibt:

$$p_{max} = c \frac{L^{\frac{1}{3}}}{e}$$

p: Druck in bar
L: Ladegewicht in kg
e: Entfernung in m
c: empirischer Faktor; = 500

3. Gasblase

Wie schon gesagt, erfüllen die bei der Detonation unter Wasser entstehenden Gase zunächst das vom Sprengstoff eingenommene kleine Volumen und bilden so eine Gasblase, die unter hohem Druck steht. Das umgebende Wasser gibt nach und die Gasblase dehnt sich aus. Dabei strömen die Wassermassen mit großer Geschwindigkeit radial vom Sprengpunkt weg. Diese Strömung wird als Schub bezeichnet. Die maximale kinetische Energie, die das Wasser bei der Detonation erhalten kann, heißt Schubenergie. Die Ausbildung der Gasblase verläuft viel langsamer als die Abstrahlung der Druckwelle. Je mehr die Gasblase sich ausdehnt, um so mehr sinkt der Druck auf die eingeschlossenen Gase, so daß die Ausdehnung immer langsamer vor sich geht, bis schließlich die kinetische Energie aufgezehrt ist. Hierbei sinkt der Druck des Gasblaseninhalts unter den statischen Wasserdruck und die Wassermassen schlagen wieder zusammen. Die Gase werden erneut komprimiert bis zu einem 2. Minimum, in

dem es wieder zur Ausbildung und Abstrahlung einer Druckwelle (Sekundärdruckwelle) kommt. Die Schwingung der Gasblase kann sich mehrmals wiederholen, wobei sich ein 3. Minimum und unter günstigen Umständen noch weitere Minima ausbilden können. Die Gasblase steigt dabei infolge ihres Auftriebes zur Wasseroberfläche auf, wobei sie im Minimum nicht kugelförmig ist. Durch die Druckdifferenz der Blasenoberseite zur Blasenunterseite bewegt sich die Unterseite schneller und wölbt sich in die Gasblase hinein. Die beiden Flächen können zusammenschlagen. Das Wasser erfährt in einem eng begrenzten Bereich eine zur Wasseroberfläche gerichtete Beschleunigung und es entsteht der sogenannte Wasserhammer (waterjet).

Danach ist klar, daß für Unterwasserwaffen solche Sprengstoffe besonders wirksam sind, welche für die Schuberzeugung eine besonders hochgespannte Gasblase liefern können. Mischungen mit erheblichem Prozentsatz an Aluminiumpulver haben sich besonders bewährt (→ Aluminium; → Torpex; → Trialen; → Tritonal).

Literatur

G. Bjarnholt und *R. Holmberg*, Explosive Expansion Work in Underwater Detonations. Reprints of the Sixth Symposium on Detonation, San Diego, 1976 (über: Office of Naval Research, San Diego, USA).

S. Paterson und *A. H. Begg*, Underwater Explosion, Propellants and Explosives 3, 63–69 (1978).

S. M. Kaye, Encyclopedia of Explosives and Related Items, Bd. 10, S. U 38–81 (1983).

Unterwasserzünder

water resistant detonator; détonateur pour tir sous l'eau

unterscheiden sich von den üblichen Sprengzündern durch eine besonders gute Abdichtung, die bewirkt, daß auch bei stärkerem Wasserdruck kein Wasser in den Zünder eintreten kann (→ Brückenzünder).

Vakuum-Test

Dieser in den USA entwickelte und in neuerer Zeit in verschiedenen Ländern zum Einsatz kommende Test stellt eine Abänderung des → Taliani-Testes insofern dar, als die Zersetzungsgase nicht manometrisch, sondern volumetrisch bestimmt werden. Die bei einbasigen Treibmitteln bei 100 °C und bei mehrbasigen Treibmitteln bei 90 °C durchgeführte Prüfung wird nicht, wie bei dem Taliani-Test, nach Erreichen eines bestimmten Druckes bzw. Volumens, sondern nach 40 Stunden beendet.

Der Vakuumtest wird als Verträglichkeitstest in Form des sogenannten Reaktivitätstestes angewandt. Hierbei wird die Verträglichkeit zwischen Explosivstoff und einem Kontaktstoff (z. B. Kleber, Lacke und dergleichen) in der Weise geprüft, daß die Gasabspaltung des Explosivstoffes allein, des Kontaktstoffes allein, sowie beider Komponenten gemeinsam bestimmt werden. Als Maß für die Reaktivität bzw. Verträglichkeit wird die Differenz zwischen der Gasabspaltung, der Summe der Einzelkomponenten und dem Wert, der sich bei der gemeinsamen Lagerung von Explosivstoff und Kontaktstoff ergeben hat, bezeichnet. Bei Werten zwischen 3 und 5 ml wird die Verträglichkeit als „bedenklich" bezeichnet, ab 5 ml liegt Unverträglichkeit vor. Unterhalb 3 ml werden die Komponenten als stabil bewertet.

Verbrennbare Kartuschhülsen

combustible cartridge cases; douilles combustibles

Die Treibladung für den Schuß aus einer Waffe wird in Hülsen oder Beuteln („Kartuschbeuteln") eingebracht; bei metallischen Kartuschhülsen wird das Geschoß mit der Treibladung und dem Treibladungszünder zu einer „Patrone" vereinigt.

Verbrennbare Kartuschhülsen dienen nun dem Zweck, auch das Hülsenmaterial zur ballistischen Leistung heranzuziehen und außerdem das Ausbringen von inertem Material aus der Waffe nach dem Schuß überflüssig zu machen. Ein solches Hülsenmaterial muß dem Abbrandvorgang des Pulvers angepaßt werden. Es besteht aus energetischem Material, z. B. Nitrocellulose, strukturfestigendem Zusatz, z. B. Kraftpapierfasern, Bindern aus Kunststoff und weiteren Additiven, z. B. von Stabilisatoren, wie beim Pulver selbst. Die Hülsen werden durch Abfiltern aus einer Pülpe, Pressen, Formen und Imprägnieren hergestellt.

Auch für Infanteriewaffen gibt es Entwicklungen mit hülsenloser Munition; da der Auswerfermechanismus entfallen kann, wird in Maschinenwaffen eine Erhöhung der Schußzahl ermöglicht.

→ ferner „Hülsenlose Munition"

Verbrennung

combustion; brûlage

Verbrennung bezeichnet jede Oxidationsreaktion, auch unter Zutritt von Luftsauerstoff; viele Explosivstoffe vermögen abzubrennen, ohne in Detonation überzugehen, wenn sie sich nicht in Einschluß befinden (→ Verdämmung). Außerdem wird zuweilen auch die Oxidationsreaktion ohne Sauerstoffzutritt bei Treibstoffen mit Verbrennung bezeich-

net; besser sollte man den Vorgang als Abbrand bezeichnen (→ Abbrandgeschwindigkeit, → Deflagration).

Verbrennungswärme

combustion heat; chaleur de combustion

Im Gegensatz zur Explosionswärme stellt die Verbrennungswärme den kalorischen Wert bei vollständiger Verbrennung des betreffenden Produktes dar. Sie wird im Bombenkalorimeter unter überschüssigem Sauerstoffdruck bestimmt. Allgemein dient die Verbrennungswärme zur Ermittlung der Bildungswärmen.

Die Verbrennungswärme hängt nur von der Konstitution bzw. Zusammensetzung des Stoffes, nicht z. B. von der Ladedichte ab.

Verbundtreibsätze

composite propellants; poudres composites

ist die Bezeichnung für Raketen-Festtreibstoffe, die sich aus sauerstoffgebenden anorganischen Salzen und einem vernetzbaren Kunststoffbinder zusammensetzen.

Die heute gebräuchlichen hochpolymeren Binder sind: Polysulfide („PS“), Polybutadien-Acrylsäure („PBAA“), Polybutadien-Acrylsäure-Acrylonitril („PBAN“), Polyurethan („PU“) und Polybutadien mit Carboxyl-Endgruppen („CTPB“) und mit Hydroxylendgruppen („HTPB“).

Als sauerstoffabgebende Salze werden Perchlorate, besonders Ammoniumperchlorat, verwendet.

Die Herstellung dieser Treibmittel kann im Gieß- oder Preßverfahren erfolgen. Die Kornfeinheit des verwendeten Salzes spielt eine wesentliche Rolle für die Brenneigenschaften. An die mechanischen – vorzugsweise gummi-elastischen – Eigenschaften des Kunststoffbinders müssen besondere Anforderungen gestellt werden.

CDB-Treibsätze sind Kombinationen von Verbundtreibsätzen mit → double base-Sätzen, Treibstoffe mit denen sonst schwer erreichbare „Plateaus“ erzielbar sind (→ Abbrandgeschwindigkeit).

Ausführliche Angaben s. *Zähringer:* Solid Propellant Rockets, 1958. *Barrère, Jaumotte, Fraeijs de Veubeke, Vandekerckhove:* „Raketenantriebe“, Elsevier Publishing Company, Amsterdam 1961. *Dadieu, Damm, Schmidt:* Raketentreibstoffe, Springer, Wien 1968.

Vernichten von Explosivstoffen

Unter „Vernichten“ wird hierbei das Vernichten von Explosivstoffen, von explosivstoffbehafteten Abfällen und explosivstoffhaltigem Kehricht, das Unschädlichmachen von Explosivstoffresten an Maschinen, Apparaten, Leitungen usw. und das Behandeln explosivstoffbehafteter Gegenstände verstanden (für das Entleeren und Behandeln von Munition → Delaborieren). Das Vernichten von Explosivstoffen muß unter Leitung und Verantwortung eines Fachkundigen*) geschehen. Einzelheiten über das Vernichten regeln die Richtlinien der Berufsgenossenschaft der Chemischen Industrie**).

Als Vernichtungsoperation für Explosivstoffe kommen in Frage:

1. Abbrennen; das ist für die meisten Explosivstoffe mit Ausnahme der Initialsprengstoffe möglich; diese – an sich wichtige – Vernichtungsoperation ist auf Herstellerbetriebe beschränkt. Für Anwenderbetriebe wurde das Abbrennen inzwischen verboten.
2. Einschütten und Verrühren mit viel Wasser; das ist möglich bei Stoffen, die ganz oder zum wesentlichen Teil wasserlöslich sind (Schwarzpulver, ANC- bzw. PAC-Sprengstoffe);
3. Behandlung mit Chemikalien (Säuren, Laugen, Kochen mit Wasser); so wird Bleiazid durch Behandeln mit Salpetersäure unter Natriumnitritzusatz, Bleitrinitroresorcinat durch Behandeln mit Salpetersäure und Knallquecksilber durch längere Einwirkung durch Salpetersäure bei Siedetemperatur vernichtet;
4. Sprengen.

Bei Abbrenn-Operationen muß ein zugelassener umwallter Brandplatz mit ausreichendem Abstand von gefährdeten Gebäuden (Minimum 50 m) vorhanden sein, der durch einen Drahtkäfig vor dem Wegfliegen brennender Teile bewahrt und über gesicherte Schutzräume für das Personal verfügt. Die zulässige Menge ist je nach Art des Explosivstoffs verschieden, beträgt maximal (mit Ausnahme von gewissen Raketensätzen) 100 kg; der Stoff wird in Windrichtung in langen Bahnen auf zuverlässig brennbarer Unterlage (Holzwolle, die an der Zündstelle getränkt wird) ausgeschüttet. In Metalleinschluß befindliche Stoffe werden unter Sicherheit vom Einschluß befreit oder aus ihm ausgedampft (→ Delaborieren). Wird die Vernichtung durch chemische Behandlung vorgenommen, müssen die Behandlungsgefäße aus

---

*) Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe von 1976 mit seinen Durchführungsbestimmungen; Text und Kommentare: *Apel-Kreusgen*, Sprengstoffgesetz, C. Heymanns Verlag, Köln.

**) Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz beim Zerlegen von Gegenständen mit Explosivstoff oder beim Vernichten von Explosivstoff oder Gegenständen mit Explosivstoff (BGR 114 – Regel „Explosivstoff-Zerlege- oder Vernichteregeln“).

Materialien bestehen, welche durch die Behandlungsflüssigkeit oder durch den Explosivstoff nicht angegriffen werden; die Behandlungstemperatur ist so zu regeln und abzusichern, daß die Entzündungstemperatur des Stoffes erheblich unterschritten bleibt.

Beim Vernichten durch Sprengen muß der Sprengplatz einen noch größeren Abstand (Minimum 300 m) von anderen gefährdeten Gebäuden haben; dem Wegfliegen von Wurfstücken ist in geeigneter Weise (Umwallungen, Palisaden, Überdeckungen) vorzubeugen; als allgemeine Sicherheitsmaßnahmen gelten selbstverständlich die gleichen wie für andere Sprengungen auch.

Verpuffungstemperatur

deflagration point; température d'inflammation; Entzündungstemperatur

Als Verpuffungspunkt wird diejenige Temperatur bezeichnet, bei welcher eine kleine Sprengstoffprobe im Probierglas durch Erhitzen von außen in Entflammung, Verpuffung oder gar heftige Explosion übergeht.

Proben von je 0,5 g, bei Initialsprengstoffen von 0,01 g, werden in einem Probierglas in ein geschmolzenes Metallbad (zweckmäßig Woodsches Metall) 2 cm tief bei 100 °C eingesetzt und die Temperatur um 20 °C/min so lange gesteigert, bis Verpuffung oder Zersetzung eintritt.

Diese Methode entspricht der Vorschrift, wie sie in der Eisenbahnverkehrsordnung festgelegt ist.

Für Nitrocellulose und Nitrocellulosepulver tritt anstelle des Woodschen Metallbades ein Paraffinbad mit Rührvorrichtung, bei dem die Temperatursteigerung 5 °C/min beträgt.

Verstärkungsladungen

booster; relais; Übertragungsladungen

sind Ladungen aus gepreßten leistungsstarken Sprengstoffen ohne eingebautes Zündmittel (→ Zündladungen), die zum sicheren Zünden von relativ unempfindlichen Sprengladungen dienen. Gegossene TNT-Ladungen sind z. B. durch eine Sprengkapsel allein nicht mit Sicherheit zündbar. Auch nicht-kapselempfindliche → Sprengschlämme („slurries") gehören zu den Explosivstoffen, die mit Übertragungsladungen gezündet werden müssen. Zu diesem Zweck dienen auch kapselempfindliche patronierte → gewerbliche Sprengstoffe.

Versuchsstrecken

test galleries; galeries d'essai; Sprengstoffprüfstrecken

dienen der Prüfung der Wettersprengstoffe auf Schlagwetter- und Kohlenstaubsicherheit. Über die verschiedenen Prüfmethoden und die Anforderungen an die zu prüfenden Sprengstoffe → Wettersprengstoffe.

Verzögerungssätze

delay compositions; compositions retardatrices

sind Stoff-Mischungen, die in Verzögerungsröhrchen eingepreßt ohne Entbindung gasförmiger Reaktionsprodukte reagieren und damit eine möglichst geringe Schwankung der Verzögerungszeit erzielen lassen: Derartige Gemische sind: Kaliumpermanganat/Antimon; Bleidioxid oder Mennige/Silicium; Oxidations-Reduktions-Reaktionen mit Halogeniden und Fluoriden.

→ auch Koruskativa.

Verzögerungszünder

delay fuse; fusée retardatrice

Militärisch bezeichnet man als Verzögerungszünder einen kompletten Geschoßzünder, der nach Ansprechen am Ziel die Sprengladung erst nach einer gewissen Verzögerung detonieren läßt.

Für die gewerbliche Sprengtechnik werden Verzögerungen verschiedener Verzögerungsdauer in die Sprengzünder (→ Brückenzünder) eingebaut. Man unterscheidet zwischen „Kurzzeitzündern" (Millisekundenzünder mit 20 ms- und 30 ms-Intervall) und „Langzeitzündern" (Viertelsekundenzünder (250 ms) und Halbsekundenzünder (500 ms)).

Vieille-Test

Nach dieser von *Vieille* im Jahre 1896 vorgeschlagenen Stabilitätsprüfung von Treibmitteln wird die Probe abwechselnd bei 110 °C in Gegenwart eines Streifens Lackmus-Papier erhitzt und sodann über Nacht bei Zimmertemperatur an der Luft ausgebreitet. Dieses Verfahren wird solange fortgesetzt, bis sich das Lackmus-Papier innerhalb einer Stunde rötet. Die Summe der jeweiligen Erhitzungszeiten gilt als Maß für die Stabilität.

Diese Methode besitzt den Vorteil, daß das Treibmittel bei der zwischenzeitlichen Ausbreitung an der Luft erneut Feuchtigkeit aufnehmen kann und daß somit die Zersetzung unter diesbezüglich wirklich-

keitsnahen Bedingungen verläuft. Der Test hat seine einstige Vorrangstellung eingebüßt, nachdem sich ein mittels dieses Testes geprüftes Pulver (Amylalkoholpulver) an Bord von zwei Kriegsschiffen zersetzt und nach erfolgter Explosion zum Untergang der Schiffe geführt hatte (1911). Der Vieille-Test wird, nach entsprechend vorgenommener Korrektur der Glasgefäße bzw. deren Schliffe, heute im wesentlichen nur noch in Frankreich und Belgien angewandt.

Warmlagerteste

werden angewandt, um die bei Normaltemperatur im allgemeinen sehr langsam verlaufende Zersetzung eines Explosivstoffes zu beschleunigen und um so aus der Art und Menge der Abbauprodukte Rückschlüsse auf die Stabilität bzw. voraussichtliche Lebensdauer zu ziehen. Man bedient sich zu diesem Zweck verschiedener, bei unterschiedlichen Temperaturen arbeitender Methoden. Im wesentlichen handelt es sich um:

1. Methoden, welche die abgespaltenen Nitrosen entweder unmittelbar mit dem Auge oder mit Hilfe eines im sauren Bereich umschlagenden, auf Filtrierpapierstreifen aufgetragenen Farbstoffes erkennen lassen. Zu ersteren gehören die sogenannten „Qualitativen Prüfungen“ bei 132, 100, 75 und 65,5 °C, letzterer als US-Überwachungstest bekannt; zu letzteren der Methylviolett-Test, der Abel-Test und der Vieille-Test.
2. Methoden, welche die abgespaltenen Gase quantitativ zu erfassen vermögen. Hierbei unterscheidet man in Prüfmethoden, die lediglich saure Produkte (Nitrose) erfassen, wie z. B. Bergmann-Junk-Test, und solche Methoden, die sämtliche gasförmigen Abbauprodukte erfassen können; hierzu gehören die manometrischen und die Gewichtsverlust-Methoden.
3. Methoden, welche aus Art und Menge der bei der Lagerung entstehenden Stabilisator-Abbauprodukte Rückschlüsse auf die Zersetzung des Explosivstoffes und damit auf dessen Stabilität gestatten. Hierzu gehören die polarographischen, dünnschicht-chromatographischen und spektrophotometrischen Verfahren.
4. Methoden, die auf Grund der bei der Lagerung des Explosivstoffes auftretenden Zersetzungswärme Aussagen über die Stabilität zulassen (Silbergefäßtest).
5. Methoden, die auf Grund des zugleich physikalischen Abbaues eines Nitrocellulose-Gels eine Beurteilung der Stabilität ermöglichen (Viskositätsmessungen).

Je nach der Art des Explosivstoffes (Sprengstoffe, 1-, 2- oder 3basige Pulver und Festtreibstoffe) sowie nach der voraussichtlichen zeitlichen und thermischen Beanspruchung (Eisenbahntransport oder langjährige Lagerungen unter verschiedenen klimatischen Bedingungen) werden die jeweils geeigneten bzw. erforderlichen Teste angewandt. So

werden für den Eisenbahntransport bei Treibmitteln lediglich Kurzzeitprüfungen gefordert. Wird jedoch eine Aussage bezüglich der voraussichtlich zu erwartenden Lebensdauer gewünscht, dann müssen sogenannte Langzeit-Teste bei 75 °C und darunter durchgeführt werden. Die Dauer derartiger Lagerungen beträgt, je nach Treibmitteltyp, bis zu 24 Monate. Für die laufende Kontrolle von Treibmitteln bekannter Zusammensetzung und damit als bekannt vorauszusetzender Lebensdauer werden im allgemeinen die sogenannten Kurzzeit-Tests, wie der Bergmann-Junk-Test, der Holland-Test, der Methylviolett- und der Vieille-Test, sehr selten noch der Abel-Test angewandt. Bei der Wahl der jeweiligen Prüfmethode ist darüber hinaus die Zusammensetzung des Treibmittels und die hieraus resultierende Art und Menge der Zersetzungsprodukte zu berücksichtigen.

Im Gegensatz zu den im wesentlichen salpetersäureesterhaltigen Treibmitteln können die sogenannten Composite-Festtreibstoffe zufolge der relativ guten chemischen Stabilität der eingearbeiteten anorganischen Sauerstoffträger nicht nach den üblichen Testen geprüft werden. In diesen Fällen ist der Zustand des Binders und dessen chemische und physikalische Veränderung maßgebend für die Beständigkeit dieses Treibmittels.

Wasacord

ist die Handelsbezeichnung für eine → Sprengschnur der WASAG CHEMIE Sythen GmbH mit ca. 12 g Nitropenta/m.

Kennzeichnende Farbe: grün; → auch: Dynacord; Multicord; Supercord; Geocord.

Wasafol; Wasaform 1, 2, 3 und 4

sind Handelsnamen von Spezialsprengstoffen für die → Metallbearbeitung durch Sprengstoffe, die von der WASAG CHEMIE Sythen GmbH entwickelt wurden. Wasafol und Wasaform 1 sind pastöse Zusammensetzungen hoher Dichte, die auch in geringer Dichte und geringen Querschnitten (bis herab zu 3 mm ⌀) ohne Einschluß detonierbar sind; Wasafol wird zu Folie ausgewalzt; Wasaform 1 ist klebfähig. Sie sind zum Ansprengen von Metalloberflächen geeignet; Wasaform 1 dient außerdem für Spezialaufgaben, wie z. B. zum Aufsprengen von Türschlössern durch die Polizei. Ferner kann es zur Verformung von Blechen zu Reliefstrukturen verwendet werden.

Wasafol 2, 3 und 4 sind in ihrer schiebenden Wirkung abgestufte, pulverförmige Sprengstoffe geringerer Dichte.

Wasserbesatz

water stemming; bourrage à l'eau

für Sprengbohrlöcher besteht aus mit Wasser gefüllten Kunststoffpatronen und gibt eine gewisse Sicherung gegen Schlagwetter- und Kohlestaubzündungen.

Wasserfestigkeit

water restistance; résistance à l'eau

In den USA wird zur Prüfung der Wasserfestigkeit der gewerblichen Sprengstoffe die nachfolgende Methode angewendet:

16 Löcher mit einem Durchmesser von ca. 6 mm werden in regelmäßiger Anordnung in die Hülle einer Patrone von 30 mm Durchmesser und 200 mm Länge des zu prüfenden Sprengstoffes geschnitten und die stirnseitigen Klappenverschlüsse mit Talg versiegelt. Die so beschaffenen Patronen werden in eine flache, mit einer Porzellanschicht überzogene Schale gelegt, mit einer dünnen Sandschicht bedeckt und mit Wasser von 17–25 °C bis zu einer Höhe von ungefähr 25 mm über der Sandschicht überschichtet. Nachdem man die Patronen eine bestimmte Zeit hat abstehen lassen, werden sie entfernt, an einem Ende der Verschluß abgeschnitten und mit einer Sprengkapsel Nr. 6 auf Zündung und Übertragung geprüft. Als Maß der Wasserbeständigkeit von Sprengstoffen wird die Zeit angenommen, die ein Sprengstoff dem Wasser ausgesetzt werden kann, ohne dabei die Fähigkeit zu verlieren, die Detonation der Patrone bei drei Versuchen ohne Zurücklassung von nicht detonierten Sprengstoffbestandteilen auszulösen.

Eine einheitlich festgelegte Güteklasseeinteilung gibt es nicht. Man kann jedoch die Wasserfestigkeit als gut bezeichnen, wenn in der ausgeführten Probe der Sprengstoff nach 24 Stunden als mittel, wenn er nach acht Stunden als gering, und wenn er nach zwei Stunden noch detonierbar bleibt.

In Deutschland gilt für die Prüfung von pulverförmigen Wettersprengstoffen auf Wasserfestigkeit die folgende von der → Bergbau-Versuchsstrecke ausgearbeitete Prüfanordnung:

Vier auf einer Holzlatte hintereinander angebrachte Patronen, deren erste mit einem scharfen Zünder Nr. 8 versehen wird, werden waagerecht in Wasser von 60 °C, 20 cm tief unter der Oberfläche, für eine Zeitdauer von fünf Stunden untergetaucht und danach gesprengt.

Die Patronen werden mit je fünf 2 cm langen Einschnitten in Längsrichtung und gleichmäßiger Verteilung über den gesamten Umfang versehen. Die Ladung muß vollständig detonieren.

Literatur:

R. Zimmermann: Sicherheitstechnische Eigenschaften von Bergbau-Sprengstoffen bei zunehmender Teufe – Einflüsse von Gebirgstemperatur und barometrischem Druck –, Mitteil. d. WBK, H. 66, S. 18–26, Bochum 1989.

Web Thickness

eines Schießpulvers ist die Schichtdicke eines Pulverkorns oder -körpers, die für die Berechnung der Brennzeit desselben entscheidend ist (→ Abbrandgeschwindigkeit).

Weichkornpulver

ist eine Lieferform von → Schwarzpulver für Feuerwerkereien. Beim Weichkorn wird die Verdichtung auf hydraulischen Pressen unterlassen und der „Pulverkuchen“ in der Verdichtung belassen, wie sie bereits durch die Bearbeitung im Läuferwerk erreicht wird.

Wetter-Carbonit C

Sprengtechnische Daten	
Beschaffenheit	weiß, pulverförmig
Sauerstoffwert	+4,8 %
Normalgasvolumen	624 l/kg
Explosionswärme (H_2O gas)	361 kcal/kg = 1513 kJ/kg
Spezif. Energie	34,2 mt/kg = 335 kJ/kg
Energieniveau	41,0 mt/l = 402 kJ/l
Dichte	1,2 g/cm^3
Bleiblockausbauchung	90 cm^3
relative weight strength	37 %
Detonationsgeschwindigkeit freiliegend	1500 m/s
Detonationsgeschwindigkeit im Einschluß	1500 m/s
Stauchung nach *Kast*	1,7 mm
Stauchung nach *Heß*	4,5 mm
Schlagempfindlichkeit	2 kp m = 20 Nm
Übertragung freihängend	20 cm
im Kohlezementrohr 20 : 1	10 cm
im Kohlezementrohr 2 : 1	5 cm

Wetter-Carbonit C ist der Handelsname für einen von der Orica hergestellten pulverförmigen Wettersprengstoff der höchsten Sicherheitsklasse III.

Er ist in der Sprengstoffprüfstrecke mit der höchsten, in einer einreihigen Ladesäule in der Nut des 2 m langen Kantenmörsers unter-

zubringenden Lademenge bei allen Kantenmörserstellungen gegen Schlagwetter sicher. Darüber hinaus besitzt er eine hohe Wasserbeständigkeit, so daß er auch in feuchten Bohrlöchern verwendet werden kann. Seine Deflagrierbarkeit ist nur gering.

Über den von der Bergbehörde zugelassenen Anwendungsbereich der Sprengstoffe der Sicherheitsklasse III → Wettersprengstoffe.

Wetter-Devinit A

Sprengtechnische Daten	
Beschaffenheit	pulverförmig, grau-weiß
Sauerstoffwert	+1,9 %
Normalgasvolumen	337,1 l/kg
Explosionswärme (H_2O gas)	301,2 kcal/kg = 1261 kJ/kg
Spezif. Energie	19,7 mt/kg = 191 kJ/kg
Energieniveau	24,6 mt/l = 241 kJ/l
Dichte	1,25 g/cm^3
Bleiblockausbauchung	65 cm^3
relative weight strength	18 %
Detonationsgeschwindigkeit freiliegend	1400 m/s
Detonationsgeschwindigkeit im Einschluß	1700 m/s
Stauchung nach *Heß*	5,5 mm
Schlagempfindlichkeit	5 kp m = 49 Nm
Übertragung	
im Kohlezementrohr 20 : 1	10 cm
im Kohlezementrohr 2 : 1	10 cm

Wetter-Devinit A ist der Handelsname für einen pulverförmigen Wettersprengstoff der WASAGCHEMIE Sythen GmbH. Er stellt einen abgeschwächten Typ der Sicherheitsklasse III dar.

In gebirgsschonender Anwendung eignet er sich zur Verringerung von Mehrausbrüchen bei gebrächig Hangendem.

Der Sprengstoff ist besonders geeignet für seismische Aufschlußmessungen im Untertagebereich.

Wetter-Dynacord 4

ist der Handelsname für eine wettersichere → Sprengschnur der Orica. Sie ist eine speziell für den Steinkohlenbergbau entwickelte Sprengschnur hoher Sicherheit zum Profilsprengen in Kohlestrecken und im Abbau in Verbindung mit allen pulverförmigen Wettersprengstoffen der Klasse I, II und III. Ihre Sicherheit gegen die Zündung von

Kohlenstaub und Methan/Luft-Gemischen entspricht der von Wettersprengstoffen der Klasse III.

Wetter-Energit B

Sprengtechnische Daten:	
Beschaffenheit	pulverförmig, weiß
Sauerstoffwert	+3,7 %
Normalgasvolumen	576 l/kg
Explosionswärme (H_2O gas)	464 kcal/kg = 1944 kJ/kg
Spezif. Energie	42 mt/kg = 415 kJ/kg
Energieniveau	51 mt/l = 498 kJ/l
Dichte	1,2 g/cm^3
Bleiblockausbauchung	130 cm^3
relative weight strength	38 %
Detonationsgeschwindigkeit freiliegend	1700 m/s
im Einschluß	1800 m/s
Stauchung nach *Kast*	2,4 mm
Stauchung nach *Heß*	7 mm
Schlagempfindlichkeit	1,5 kp m = 15 Nm
Übertragung freihängend	20 cm
im Kohlezementrohr 20 : 1	18 cm
im Kohlezementrohr 2 : 1	15 cm

Wetter-Energit B ist der Handelsname eines von der Orica hergestellten pulverförmigen Wettersprengstoffs der Sicherheitsklasse II. Er basiert auf dem Salzpaar Alkalinitrat-Ammoniumchlorid. Zur Erzielung einer geschlossenen Ladesäule und damit einer guten Detonationsübertragung werden die Patronen eingeschlaucht.

Über den von der Bergbehörde zugelassenen Anwendungsbereich der Sicherheitsklasse II → Wettersprengstoffe.

Wetter-Permit B

Sprengtechnische Daten	
Beschaffenheit	pulverförmig, gelblichweiß
Sauerstoffwert	+0,5 %
Normalgasvolumen	663 l/kg
Explosionswärme (H_2O gas)	613 kcal/kg = 2566 kJ/kg
Spezif. Energie	58 mt/kg = 569 kJ/kg
Energiedichte	67 mt/l = 654 kJ/l
Dichte	1,15 g/cm^3
Bleiblockausbauchung	190 ml
D.-Geschwindigkeit freiliegend	2000 m/s
D.-Geschwindigkeit unter Einschluß	2500 m/s
Stauchung nach *Kast*	2,9 mm
Stauchung nach *Heß*	10 mm
Schlagempfindlichkeit	15 Nm
Übertragung	
freihängend	20 cm
Übertragung	
im Kohlezementrohr 2 : 1	16 cm

Wetter-Permit B ist der Handelsname für einen pulverförmigen Wettersprengstoff der Sicherheitsklasse I der Orica. Er eignet sich in der Aus- und Vorrichtung in festem Gestein und, soweit nach Maßgabe der bergbehördlichen Vorschriften zulässig, für feste dickbankige und verspannte Kohle. Sein Gehalt an wasserabweisenden Stoffen macht ihn zum Einsatz in nassen Bohrlöchern geeignet.

Über den von der Bergbehörde zugelassenen Verwendungsbereich der Sicherheitsklasse I → Wettersprengstoffe.

Wetter-Roburit B

Sprengtechnische Daten:	
Beschaffenheit	pulverförmig, weiß
Sauerstoffwert	+3,1 %
Normalgasvolumen	577 J/kg
Explosionswärme (H_2O gas)	472 kcal/kg = 1975 kJ/kg
Spezif. Energie	43,5 mt/kg = 426 kJ/kg
Energiedichte	52 mt/l = 510 kJ/l
Dichte	1,2 g/cm^3
Bleiblockausbauchung	125 cm^3
relative weight strength	38 %
Detonationsgeschwindigkeit freiliegend	1800 m/s
Detonationsgeschwindigkeit unter Einschluß	2000 m/s
Stauchung nach *Kast*	1,8 mm
Stauchung nach *Heß*	8 mm
Schlagempfindlichkeit	2,5 kp m = 25 Nm
Übertragung freihängend	20 cm
im Kohlezementrohr 20 : 1	15 cm
im Kohlezementrohr 2 : 1	15 cm

Wetter-Roburit B ist der Handelsname eines von der WASAGCHEMIE Sythen GmbH hergestellten pulverförmigen Wettersprengstoffs der Sicherheitsklasse II. Er basiert auf dem Salzpaar Alkalinitrat-Ammoniumchlorid. Er bietet neben seiner beträchtlichen Sicherheit gegen Kohlenstaub- und Schlagwetterzündungen eine vergleichsweise hohe Sprengkraft und Wasserbeständigkeit. Zur Erzielung einer geschlossenen Ladesäule und damit einer guten Detonationsübertragung findet Wetter-Roburit B nur eingeschlaucht Verwendung.

Über den von der Bergbehörde zugelassenen Anwendungsbereich der Sprengstoffe der Sicherheitsklasse II → Wettersprengstoffe.

Wetter-Securit C

Sprengtechnische Daten:	
Beschaffenheit	pulverförmig, grau-weiß
Sauerstoffwert	+4,2 %
Normalgasvolumen	542 l/kg
Explosionswärme (H_2O gas)	387 kcal/kg = 1620 kJ/kg
Spezif. Energie	36,2 mt/kg = 355 kJ/kg
Energieniveau	42,7 mt/l = 419 kJ/kg
Dichte	1,20 g/cm^3
Bleiblockausbauchung	100 cm^3
relative weight strength	37 %
Detonationsgeschwindigkeit freiliegend	1500 m/s
Detonationsgeschwindigkeit unter Einschluß	1500 m/s
Stauchung nach *Kast*	1,3 mm
Stauchung nach *Heß*	5,0 mm
Schlagempfindlichkeit	3,0 kp m = 30 Nm
Übertragung freihängend	20 cm
im Kohlezementrohr 2 : 1	10 cm
im Kohlezementrohr 20 : 1	10 cm

Wetter-Securit C ist der Handelsname für einen von der WASAG CHEMIE Sythen GmbH hergestellten pulverförmigen Wettersprengstoff der höchsten Sicherheitsklasse III.

Er ist in der Sprengstoffprüfstrecke mit der höchsten, in einer einreihigen Ladesäule in der Nut des 2 m langen Kantenmörsers unterzubringenden Lademenge bei allen Kantenmörsereinstellungen gegen Schlagwetter sicher. Darüber hinaus besitzt er eine hohe Wasserbeständigkeit, so daß er auch in feuchten Bohrlöchern verwendet werden kann. Seine Deflagrierbarkeit ist nur gering. Über den von der Bergbehörde zugelassenen Anwendungsbereich der Sprengstoffe der Sicherheitsklasse III → Wettersprengstoffe.

Wettersprengstoffe

permissibles; explosifs antigrisouteux

1. Definition

Wettersprengstoffe sind Sprengstoffe für den Untertageeinsatz im Kohlebergbau, die durch die Art ihrer chemischen Zusammensetzung bzw. durch bestimmte Zusätze kurze Detonationsflammen aufweisen und die sogenannten Schlagwetter, also Methan-Luftgemische und Kohlenstaub-Luftgemische nicht zünden. Die Zündung schlagender Wetter tritt nur dann ein, wenn eine gewisse Einwirkungsdauer der Zündursache gegeben ist. Die Oxidationsreaktion des Methans

$CH_4 + 2\ O_2 = CO_2 + 2\ H_2O$

benötigt für ihren Kettenreaktionsablauf eine (temperaturabhängige) „Induktionsperiode“*. Ist die Zeitdauer der Einwirkung der Detonationsflamme kürzer als die Induktionsperiode, bzw. beschränkt man bei der Detonation eines Wettersprengstoffes diese Einwirkungsdauer auf die kuzzeitige Detonation selbst, findet keine Schlagwetterzündung statt. Die Zusammensetzung des Sprengstoffs muß also bewirken, daß länger dauernde Nachreaktionen nach der Primär-Umsetzung in der Detonationsfront unterbunden und die Möglichkeit einer langsamen → Deflagration vermieden wird (→ Audibert-Rohr).

Die Wettersprengstoffe werden in USA als „permissibles“, in England als „permitted explosives“, in Frankreich als „explosifs antigrisouteux“, in Belgien als „explosifs S. G. P.“ (sécurité, grisou, poussière) bezeichnet. In Deutschland sind sie nach dem Grad ihrer Sicherheit in der Klasse I, II und III eingeteilt (→ Kantenschußbedingung).

Um die gewünschte Sicherheit gegen die Zündung von Schlagwettern zu erreichen, wurde ursprünglich Salz (NaCl) den üblichen Zusammensetzungen der gewerblichen Sprengstoffe hinzugefügt, um die Detonationstemperatur (→ thermodynamische Berechnung der Umsetzung von Explosivstoffen) herabzusetzen und die Zeitdauer der Detonationsflammen zu kürzen. Höhere Sicherheitsgrade werden erreicht, wenn die Wettersprengstoffe auf der sog. Salzpaarreaktion basieren; anstelle der Umsetzung

$$NH_4NO_3 + \text{(inertes) NaCl} = N_2 + 2\ H_2O + \frac{1}{2}\ O_2 + \text{(inertes) NaCl}$$

ist die Salzpaarreaktion:

$$NH_4Cl + NaNO_3\ \text{(oder } KNO_3) = N_2 + 2\ H_2O + \frac{1}{2}\ O_2 + \text{NaCl (oder KCl).}$$

Auf diese Weise entsteht aus der Zerfallsreaktion selbst zum wirksamen Flammenabbruch ein feinstverteilter Salznebel. Über das Verhalten bei offengelegtem Einschluß → Selektive Detonation, S. 81. Auch Kombinationen von Salzpaar-Zusammensetzungen mit „klassischen“ Wettersprengstoffmischungen sind möglich (z. B. → Wetter-Devinit A und das Carrifrax der ICI, England).

Salzpaarsprengstoffe sind pulverförmig; sie enthalten den minimalen Prozentsatz an Nitroglycerin-Nitroglykol-Gemisch, um die Initiierbarkeit und die Übertragung sicherzustellen und das Eintreten von → Deflagrationen zu verhüten; → auch: Detonation; selektive Detonation und → Kantenschußbedingung, sowie weiter unten: → Sicherheitsklassen. Mit den Salzpaarsprengstoffen ist in bezug auf das sicherheit-

*) Im Gegensatz hierzu ist die Zündung der Wasserstoffoxidation
$2\ H_2 + O_2 = 2\ H_2O$
unverzögert und momentan.

liche Verhalten eine Größenordnung an Verbesserung erreicht worden. Nur mit ihnen können Prüfbedingungen erfüllt werden, bei denen ganze Ladesäulen dem Schlagwettergemisch ausgesetzt werden; auch bei der Bohrlochmörser-Prüfung bei Zündungen vom Bohrlochmund und aus dem Tiefsten zeigen sie erheblich sichereres Verhalten als die „klassischen" Wettersprengstoffe.

Seit einigen Jahren sind daher in Deutschland auch die gelatinösen Wettersprengstoffe der Kl. I durch pulverförmige Wettersprengstoffe mit dem inversen Salzpaar und Ammoniumnitratzusatz abgelöst worden. Sie zeigen bei gleichem Arbeitsvermögen eine verbesserte Sicherheit und sind auch für 40 mm-Patronendurchmesser zugelassen.

Literatur:

R. Zimmermann: Neue pulverförmige Wettersprengstoffe der Klasse I: Eigenschaften und Ergebnisse der sicherheitstechnischen Prüfungen, Nobel-Heft 49 (1983) S. 32–43.

2. Versuchsstrecken

test galleries; galeries d'essai; Sprengstoffprüfstrecken

Die Länder, in denen Kohlebergbau betrieben wird, haben eingehende Vorschriften über die Prüfung, die Zulassung und die Anwendung der schlagwettersicheren Sprengmittel erlassen. Die wichtigste Prüfvorrichtung hierfür ist die Versuchsstrecke (Sprengstoffprüfstrecke).

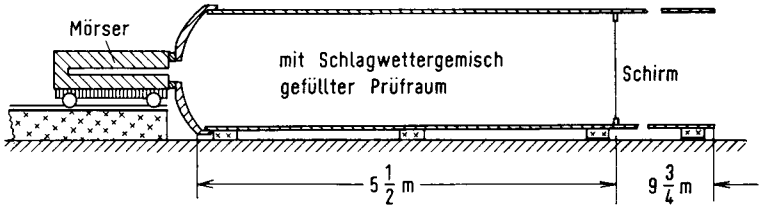


Abb. 17. Versuchsstrecke mit Bohrlochmörser.

Eine Sprengstoffprüfstrecke besteht aus einem Tunnel aus Stahl oder (früher) auch in bewehrter Holzkonstruktion von ca. 2 m^2 Querschnitt mit einer festen Abschlußwand, in dem sich durch Papierbespannung ein Raum von ca. 10 m^3 abteilen läßt. Darin wird eine zündempfindliche Schlagwettermischung eingebracht. Die verschiedenen Mörser werden in der entsprechenden Anordnung mit dem zu prüfenden Sprengstoff beladen und gezündet. Das Schlagwettergemisch soll nicht gezündet werden.

Zu den verschiedenen Mörserarten und Prüfmethoden:

Der Bohrlochmörser, wie in Abb. 17 dargestellt, ist ein Stahlzylinder von etwa 1,5 m Länge und 35 cm Durchmesser, mit einer Bohrung von

55 mm Durchmesser und 1,20 m Länge. Der zu prüfende Sprengstoff wird als Patronenreihe in das Bohrloch mit der Schlagpatrone als letzter in das Bohrloch geladen (manche Prüfbestimmungen (nicht die deutsche) erlauben auch das Verdämmen der Ladung mit Lehmbesatz). Es können auch Prüfungen vorgenommen werden, bei denen die Schlagpatrone als erste in die Bohrung eingeführt wird (die Zündwahrscheinlichkeit wird damit größer).

Die verschiedenen Mörserkonstruktionen und Prüfanordnungen bezwecken den möglichst naturgetreuen Nachbau einer Situation unter Tage. Der Bohrlochmörser mit der Versuchsstrecke imitiert eine Einzelsprengung eines Bohrlochs in einer schlagwetterführenden Strecke.

Den Fall, daß durch Risse und Spalten eine ganze Ladesäule in Kontakt mit der gasführenden Atmosphäre tritt, illustrieren der britische „Break-Test“ und der polnische Schlitzmörser:

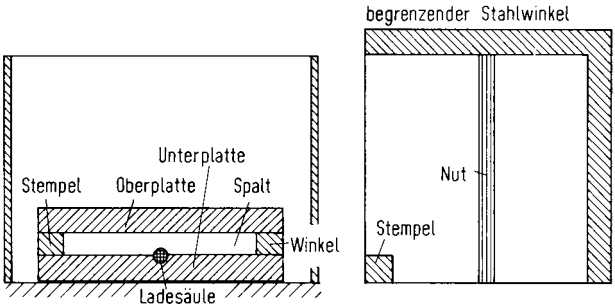


Abb. 18. Break-Test. Ansicht von vorn Ansicht von oben

Zwei Stahlplatten werden mit einem Stempel und einem winkelförmigen Einschluß aus Stahl auf einen bestimmten Abstand fixiert. Die untere Platte hat eine halbkreisförmige Rinne zur Aufnahme der Ladesäule. Die Plattenanordnung wird durch zwei feste Seitenwände und eine darüber gespannte Polyethylenfolie gasdicht eingeschlossen; der Gasraum wird mit dem zündgefährlichen Methan-Luft-Gemisch gefüllt und die Ladesäule abgetan. Wettersprengstoffe, welche den Break-Test erfüllen, werden der höchsten britischen Sicherheitsklasse P 4 zugeordnet.

Eine ähnliche Prüfung wird in Polen mit dem Schlitzmörser vorgenommen:

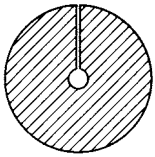


Abb. 19. Schlitzmörser.

Der Schlitz erstreckt sich nicht auf die gesamte Länge des Mörsers und beginnt auch nicht am Bohrlochmund.

Eine zündgefährliche Situation kann entstehen, wenn (wie meistens) mehrere Sprengladungen in einem Zündgang mit zeitlich gestuften elektrischen Zeitzündern oder auch Millisekundenzündern abgetan werden. Es kann besonders beim Zünden mit größerem Zeitintervall passieren, daß eine vorherdetonierende Sprengladung für das folgende Bohrloch die geplante Vorgabe bereits fortreißt und so die Ladesäule ganz oder teilweise offenlegt. Hinzu kann kommen, daß durch die vorher gezündete Sprengladung die Entgasung des abzuschlagenden Flözteils intensiviert wurde. Man spricht vom Eintreten einer „Kantenschußbedingung“; zu ihrer Stimulierung dient der von der → Bergbau-Versuchsstrecke vorgeschlagene Kantenmörser:

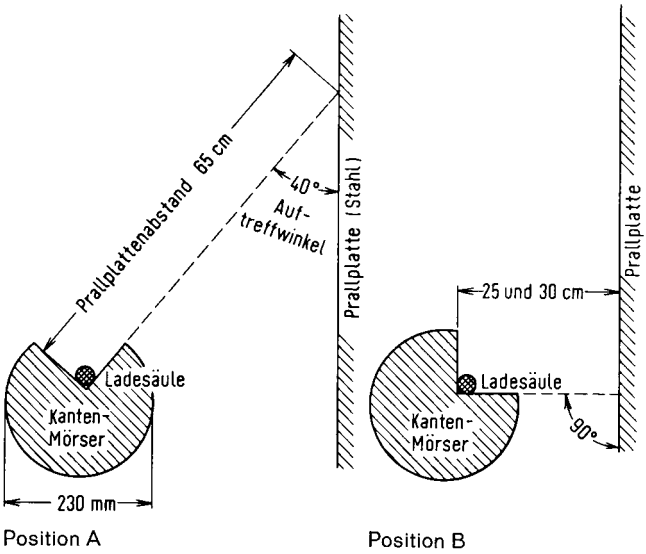


Abb. 20. Kantenmörser.

Ein Stahlzylinder von 230 mm ⌀ und 2 m Länge mit einer rechtwinkligen Ausnehmung entlang der Längsachse („Kante“) wird in der Gaskammer einer Versuchsstrecke (siehe Abb. 20) festgelegt und der Kante gegenüber gemäß den gezeichneten Positionen A und B eine stählerne Prallplatte montiert. Ladesäulen von einer bestimmten Patronenzahl oder in der gesamten 2-m-Länge werden in die Kante gelegt und nach Füllen des Gasraums mit Methan-Luft-Gemisch abgetan.

In neuerer Zeit sind Versuche durchgeführt worden, die Empfindlichkeit der Schlagwetter- oder Kohlenstaubprüfung durch Variation des Sauerstoff-Gehaltes der Prüfstreckenatmosphäre zu verändern. Man kann auf diese Weise für jede Sprengladung in einer bestimmten Prüfanordnung bei einer bestimmten Sauerstoffkonzentration eine 50 %ige Explosionshäufigkeit ermitteln. Mit diesem „Sauerstoff-Kennwert“ lassen sich Vergleiche zwischen Sprengstoffen bzw. Prüfanordnungen oder Prüfeinrichtungen auf einfache Weise ziehen.

Literatur:

R. Zimmermann: Sicherheitstechnische Eigenschaften von Bergbau-Sprengstoffen bei zunehmender Teufe – Einflüsse von Gebirgstemperaturen und barometrischem Druck –, Mitteilungen der WBK, Heft 66, S. 27–49, Bochum 1989.

3. Sicherheitsklassen

Gemäß dem Verhalten bei den Prüfungen in den verschiedenen Mörsertypen und Prüf-Anordnungen haben die kohlebergbautreibenden Länder verschiedene Sicherheitsklassen definiert; in Frankreich werden drei Klassen: „explosif roche“, „couche“ und „couche amélioré“ je nach Schwere des Bohrlochmörsertestes (Zündung von vorn, aus dem Tiefsten, langer und kurzer Mörser, mit und ohne Verdämmung mit Stahlplatten) unterschieden. In England muß die P 1 Gruppe, die der „klassischen“ Kochsalz-verdünnten Sprengstoffe, die leichteste Bohrloch-Prüfung: Zündung von vorn und verdämmt, erfüllen; die Gruppe P 2 bezeichnet die inzwischen aufgegebenen ummantelten Wettersprengstoffe (→ sheathed explosives); P 3 ist die Nachfolger-Gruppe der „gleich-ummantelt“-sicheren Eq. S. („equivalent to sheathed“) Sprengstoffe; P 4 und P 5 erfüllen den oben beschriebenen Break-Test.

Belgien und die Niederlande haben sich der deutschen Klasseneinteilung angeschlossen, welche nach dem Verhalten im Kantenmörser klassifiziert. Klasse I sind auch hier die „klassischen“ Kochsalz-verdünnten Wettersprengstoffe; Klasse II erfüllt mit 4 Patronen und in Position A (Abb. 20) die Kantenprüfung, Klasse III auch in der schärferen Prüfbedingung Position B mit vollbelegter Kante, also mit 2 m Ladelängen. Tabelle 26 zeigt das Prüfschema, das natürlich auch

Prüfungen gegen Kohlenstaub-Luft-Gemische enthält. Hinzu kommt, daß die deutschen Wettersprengstoffe bei ihrer Zulassungsprüfung weitere Tests bezüglich Deflagrationsneigung (→ *Audibert-Rohr*), ihrer → Wasserfestigkeit und ihrer Übertragung (→ Detonationsübertragung, Prüfung im Kohle-Zementrohr, S. 82) erfüllen müssen. Zur Sicherung der Übertragung werden die Sprengstoffe der Klassen II und III in der Bundesrepublik in einem überspritzten Kunststoffschlauch geliefert und angewendet, damit nicht einrieselndes Bohrmehl die Übertragung hindern kann.

Die einzelnen Klassen sind durch die Farbe der Verpackung der Patronen gekennzeichnet:

Klasse I: weißes Patronenpapier
Klasse II: grün-weiß gestreiftes Patronenpapier
Klasse III: grünes Patronenpapier.

Abweichend von den bisher in der Bundesrepublik Deutschland für Wettersprengstoffe verwendeten Patronendurchmessern von 30 mm werden neuerdings auch größere Patronendurchmesser erprobt mit dem Ziel, eine Reduzierung der Bohrlochzahl und damit größere Wirtschaftlichkeit der Bohr- und Sprengarbeit zu erreichen.

Tabelle 25. Prüfschema für die Klassen I, II und III

Wetter-sprengstoffe der Sicherheits-klasse	Sicherheit gegen Zündung des Kohlenstaub-Luftgemisches bei Zündung aus dem Bohrloch-tiefsten	Sicherheit gegen Zündung des Schlagwetter-gemisches in einem Stahlmörser mit einer Bohrung von 55 mm ⌀ und 60 cm Länge, Zündung vom Bohrlochmund	Sicherheit gegen Zündung des Schlagwetter-gemisches mit dem Kantenmörser 2 m lang
I	Ladungen von 20 cm bis zu 60 cm Länge im Stahlmörser 60 cm, 55 mm ⌀	Ladungen von 20 cm bis zu 50 cm Länge	
II	Ladungen von 0,4 m bis zu 2 m Länge im Stahl-mörser 40 mm ⌀, 2 m tief		Ladungen von mind. 40 cm Länge bei einem Abstand von 65 cm von der Prallwand und einem Auftreffwinkel von 40°
III	Ladungen von 0,4 m bis zu 2 m Länge im Stahl-mörser 40 mm ⌀, 2 m tief		einreihig voll ausgelegter Mörser sowie einreihige Ladesäule von 1,3 m Länge bei Abständen von 20, 25 und 30 cm von der Prallwand unter einem Auftreffwinkel von 90°

Tabelle 26 zeigt nun den Anwendungsbereich, für den die verschiedenen Sicherheitsklassen in der Bundesrepublik Deutschland bergbaubehördlich zugelassen sind:

	Betriebspunkte	CH_4-Gehalt der Wetter in v. H.[1])	Sprengstoffart und -klasse[2])
1	2	3	4
a	Gesteinsbetriebe ohne Kohle[3]) mit Ausnahme der Aufbrüche	bis 0,5	G
		unter 1,0	W I
b	Gesteinsbetriebe mit Kohlestreifen bis 0,2 m Mächtigkeit mit Ausnahme der Aufbrüche	bis 0,5	W I
		unter 1,0	W II
c	Gesteinsbetriebe mit anstehender Kohle über 0,2 m Mächtigkeit sowie Flözstrecken mit Ausnahme der Aufbrüche	bis 0,3	W I
		bis 0,5	W II
		unter 1,0	W III
d	Auf- und Abhauen, Abbaustrecken, Kohlenstoß und Nebengestein in Streben, Aufbrüche	unter 1,0	W III

1) Die in Spalte 3 angegebenen CH_4-Gehalte gelten für die Sprengstelle und die Grubenbaue im Umkreis von 10 m sowie auf 30 m in gerader Richtung.

2) G = Gesteinssprengstoff
W I = Wettersprengstoff der Klasse I
W II = Wettersprengstoff der Klasse II
W III = Wettersprengstoff der Klasse III

3) Ein „Gesteinsbetrieb ohne Kohle" ist ein Betrieb, an dem im Umkreis von 3 m um den Ausbruchsquerschnitt nicht mit dem Auftreten von Kohle mit über 0,2 m Mächtigkeit zu rechnen ist.

Wetter-Westfalit C

Sprengtechnische Daten:	
Beschaffenheit	pulverförmig, weiß
Sauerstoffwert	+2,1 %
Normalgasvolumen	678 J/kg
Explosionswärme (H_2O gas)	599 kcal/kg = 2506 kJ/kg
Spezif. Energie	57,9 mt/kg = 567 kJ/kg
Energieniveau	68,3 mt/l = 559 kJ/l
Dichte	1,18 g/cm^3
Bleiblockausbildung	190 cm^3
relative weight strength	50 %
Detonationsgeschwindigkeit freiliegend	2100 m/s
Detonationsgeschwindigkeit unter Einschluß	2700 m/s
Stauchung nach *Kast*	2,6 mm
Stauchung nach *Heß*	11 mm
Schlagempfindlichkeit	17,5 Nm
Übertragung freihängend	15 cm
im Kohlezementrohr 20 : 1	10 cm
im Kohlezementrohr 2 : 1	10 cm

Wetter-Westfalit C ist der Handelsname eines pulverförmigen Wettersprengstoffs Klasse I der Wasagchemie GmbH. Er basiert zwar, ebenso wie die höheren Sicherheitsklassen II und III auf dem Salzpaar Alkalinitrat-Ammoniumchlorid, darf jedoch mit dem Patronendurchmesser von 40 mm angewendet werden. Er ist geeignet für alle Sprengarbeiten in der Aus- und Vorrichtung sowie für feste, dickbankige und verspannte Kohle.

WIWEB

ist die Kurzbezeichnung für „Wehrwissenschaftliches Institut für Werk-, Explosiv- und Betriebsstoffe“ – vormals → BICT und WIM – in Erding mit einer Außenstelle in Heimerzheim bei Bonn.

Zinkperoxid

zinc peroxide; peroxyde de zinc

Summenformel: ZnO_2
Molekulargewicht: 97,379 g
Bildungsenergie: –344,8 kJ/Mol
Bildungsenthalpie: –347,3 kJ/Mol
Sauerstoffbilanz: 16,43 %
Dichte: 1,57 g/cm^3
Schmelzpunkt: > 150 °C

Zinkperoxid ist nicht hygroskopisch und in Wasser und den meisten organischen Lösungsmitteln unlöslich.

Die Verbindung entsteht durch die Umsetzung einer ammoniakalischen Zinksulfatlösung mit 30 %igem Wasserstoffperoxid bei 80–95 °C. Schüttdichte und Sauerstoffwert lassen sich unter Einhaltung von bestimmten Temperatur- und Konzentrationsbedingungen über einen relativ großen Bereich variieren. Das so erhaltene Produkt entspricht in seiner technischen Gestalt nicht vollständig der oben angegebenen Formel, die über einen aktiven Sauerstoffanteil von genau 12,3 % verfügt.

Das Zinkperoxid wird in pyrotechnischen Gemischen und Anzündsätzen verwendet, deren Umsetzungsprodukte keine korrosiven und gesundheitsschädigenden Komponenten (→ SINTOX-Anzündsätze) enthalten sollen.

Zündhütchen

→ Anzündhütchen.

Zündkreisprüfer

circuit tester, blasting galvanometer; éprouveur, galvanomètre

dienen zur elektrischen Prüfung von verlegten Zündkreisen. Der zum Messen verwendete Strom muß in seiner Stärke erheblich unter der Mindest-Ansprech-Stromstärke der elektrischen Zünder liegen; die Prüfer sind daher beidpolig mit Widerständen gesichert. Es dürfen nur zugelassene Zündkreisprüfer verwendet werden. Man unterscheidet Leitprüfer, die lediglich am Schauzeichen erkennen lassen, ob Durchgang oder nicht, und Ohmmeter, die den Zündkreiswiderstand zu messen gestatten.

Zündladungen

primers; charges d'amorçage

sind Ladungen zum Zünden von (z. T. besonders unempfindlichen) Sprengladungen, welche das Zündmittel (Sprengkapsel, elektrische und andere Zünder) eingebaut enthalten. Im gewerblichen Sprengwesen werden Zündladungen, die durch Anstechen einer Sprengpatrone und Einsetzen der Sprengkapsel oder des elektrischen Zünders hergerichtet werden, als Schlagpatronen bezeichnet.

Zündmaschinen

blasting machines; exploseurs

dienen zum elektrischen Zünden von Sprengschüssen durch Abgabe eines Stromimpulses (angegeben in Milliwattsekunden/Ohm; die Stromstärke soll das Mehrfache der Mindest-Ansprech-Stromstärke des elektrischen Zünders betragen) über die Zündleitung an die in Serie geschalteten elektrischen Zünder. Unbetätigt sind Zündmaschinen stromlos.

In schlagwettergefährdeten Betrieben muß die Stromabgabe auf vier Millisekunden durch die sogenannte Kurzeinrichtung beschränkt werden („Kurzzeitzündmaschinen"), damit kein Wurfstück die noch unter Spannung stehende Schießleitung anschlagen und einen Kurzschlußfunken entstehen lassen kann. Die Gehäuse müssen zünddurchschlagsicher ausgeführt sein.

Im nicht-schlagwettergefährdeten Sprengwesen sind Langzeitmaschinen ohne die Vier-Millisekunden-Schaltung zugelassen.

Man unterscheidet:

Zündmaschinen mit unmittelbarer Energieabgabe, mit eigenerregten oder Dauermagnet-Generatoren, die durch Drehgriff, Stoßgriff oder Feder-Aufzug in Drehung gesetzt werden,

und

Zündmaschinen mit mittelbarer Energieabgabe, bei denen die im Generator umgesetzte mechanische Betätigungsenergie erst auf einem Kondensator gespeichert und nach Erreichen einer Mindestspannung als Entladung auf die Zünderkette gegeben wird.

Eine Fehlzündung infolge mangelhafter Betätigung ist ausgeschlossen.

Die Kondensatormaschinen haben die Direkt-Generator-Maschinen praktisch verdrängt. Besonders große Leistungen müssen die Maschinen zum Zünden parallel geschalteter Brückenzünder erbringen, da über 95 % der Zündenergie in der Zündleitung verloren geht. Zum Zünden von HU-Zündern, hochunempfindlichen Spezialzündern für Sprengungen im Hochgebirge und anderen Hochspannungs-Induktions-gefährdeten Räumen, die einen extrem hohen Zündimpuls (3000 Milliwattsekunden pro Ohm) verlangen, sind ebenfalls Spezialmaschinen erforderlich.

Für jeden Zündmaschinentyp sind Zündmaschinenprüfgeräte erhältlich, die, an die Maschinen angeschlossen, bei deren Betätigung eine Glimmlampe aufleuchten lassen.

Neuerdings sind für schlagwettersichere Zündmaschinen auch elektronische Prüfgeräte erhältlich, die über die Prüfung der Mindestladespannung hinaus eine vollständige Prüfung der Leistungsabgabe sowie

anderer sicherheitlicher Parameter des Zündstromimpulses gestatten.

Literatur:

M. Streich: Ein neuartiges, zuverlässiges Prüfgerät für Zündmaschinen, Glückauf-Forschungsheft 52 (1991) Nr. 1 S. 21 ff.

Zündmittel; Anzündmittel (→ Sprengmittel)

Nach § 3 des SprengG sind Zündmittel Gegenstände, die explosionsgefährliche Stoffe enthalten und die ihrer Art nach zur detonativen Auslösung von Sprengstoffen oder Sprengschnüren bestimmt sind.

Anzündmittel sind Gegenstände, die explosionsgefährliche Stoffe enthalten und die ihrer Art nach zur nichtdetonativen Auslösung von Explosivstoffen oder pyrotechnischen Sätzen und Gegenständen bestimmt sind.

Dazu gehören: Sprengkapseln, Sprengzünder, Anzündschnüre, Sprengschnüre, Anzündlitzen und Anzündlitzenverbinder.

Zündpille

fuse head; perle d'allumage

eine Kurzbezeichnung für den Teil eines elektrischen Sprengzünders, an dem der Stromstoß die Zündung auslöst.

Zündschalter

blasting switch; commande de tir

dienen zum Auslösen elektrischer Zündungen aus der Netzspannung, z. B. im Kalibergbau, wenn die Auslösung von Übertrage erfolgt. Im allgemeinen sind zum Zünden Zündmaschinen vorgeschrieben, die im unbetätigten Zustand spannungslos sind.

Zündschnur

→ Schwarzpulveranzündschnur.

Zündschraube; Anzündschraube

dient zum Anzünden einer Treibladung. Sie besteht aus einem Anzündhütchen, dem eine kleine Schwarzpulvermenge zur Verstärkung

vorgelagert ist, und einem Armierungsteil mit Gewinde zum Einschrauben in das Bodenstück einer Kartusche.

Zündung und Anzündung

initiation; amorçage

Die Umsetzung vieler Explosivstoffe verläuft je nach Intensität und Art der Zündung und nach Stärke des → Einschlusses sehr verschieden. Nicht brisantes, also Flammenzünden wird mit → „Anzünden" bezeichnet. Brisante Zündmittel sind → Sprengkapsel, → Zündladungen und → Sprengschnur.

Brisante Zündungen werden als „Initiierung" bezeichnet.

Zündverzug; Anzündverzug

Bei → hypergolischen Treibstoffpaaren für Raketen bezeichnet man als Anzündverzug die Zeit, die vom Kontaktbeginn der Reaktionspartner bis zur Zündung vergeht; sie liegt im Millisekundengebiet und soll einen gewissen Grenzbetrag nicht überschreiten; z. B. liegt der Anzündverzug beim Reaktionspaar Furfurylalkohol-Salpetersäure bei 20 ms.

Bei Festtreibstoffraketen wird der Anzündverzug, der im Prüfstandversuch ermittelt wird, als das Zeitintervall bezeichnet, das vom Anlegen der Zündspannung an das elektrische Anzündelement bis zum Erreichen einer Druckhöhe von ungefähr 10 % des Maximaldruckes vergeht. Dieser Wert hängt naturgemäß sowohl von dem verwendeten Anfeuerungssatz als auch von der Zündwilligkeit des Festtreibstoffes ab. Die zulässige Zündverzugszeit richtet sich nach dem gedachten Einsatzzweck.

Zustandsgleichung

equation of state; l'équation d'état

Die bei der Explosion von → Treibladungspulver in der Innenballistik auftretenden Drücke können bis zu 600 MPa betragen, wobei Temperaturen bis zu 4000 K erreicht werden.

Die Berechnung thermodynamischer Daten unter solchen extremen Druck- und Temperaturbedingungen ist nur unter Verwendung einer geeigneten Zustandsgleichung möglich, welche den Druck P, die Temperatur T, die Gasdichte ϱ sowie die spezifische Molzahl n_s verknüpft.

In der Innenballistik verwendet man heute üblicherweise eine, nach dem dritten Glied abbrechende Virialgleichung der Form:

$$P = n_s \cdot R \cdot T \cdot \varrho \cdot (1 + n_s \cdot \varrho \cdot B + n_s^2 \cdot \varrho^2 \cdot C)$$

P: Druck [Pa]
n_s: spezifische Molzahl [kmol/kg]
R: Gaskonstante [J/(kmol · K)]
T: Explosionstemperatur [K]
ϱ: Gasdichte [kg/m^3]
B: zweiter Virialkoeffizient [m^3/kmol]
C: dritter Virialkoeffizient [m^6/kmol^2]

Der temperaturabhängige zweite und dritte Virialkoeffizient beschreibt die mit wachsender Gasdichte zunehmenden Zweier- und Dreierstöße der Gasmoleküle. Die Virialkoeffizienten werden, unter Verwendung eines geeigneten intermolekularen Potentialmodells (meistens ein 12–6 Lennard-Jones-Potential), aus den Ansätzen der statistischen Thermodynamik berechnet.

Die hinter dem Stoß der → Detonation eines flüssigen oder festen Sprengstoffes auftretenden Drücke liegen zwischen 2 GPa und 50 GPa, die in der Stoßfront auftretenden Temperaturen können bis zu 5000 K betragen.

Für die Berechnung des Detonationsdruckes, sowie der Geschwindigkeit der ebenen Detonationswelle nach der → Chapman-Jouget Theorie, wurden während der letzten fünfzig Jahre hauptsächlich die Becker-Kistiakowsky-Wilson (BKW)-, die Lennard-Jones-Devonshire (LJD)- und die Jacobs-Cowperthwaite-Zwisler (JCZ)-Zustandsgleichung verwendet.

Bei diesen Rechenmethoden handelt es sich um Modellgleichungen, die den Zustand der hochverdichteten und heißen Schwaden physikalisch nicht einwandfrei wiedergeben. Dies zeigt sich besonders bei der semiempirischen BKW-Zustandsgleichung, die neben fünf Parametern für die Angleichung an experimentelle Meßwerte noch zwei getrennte Datensätze für die Berechnung stark sauerstoffunterbilanzierter oder nur geringfügig negativ bzw. sauerstoffpositiv bilanzierter Explosivstoffe erfordert.

Die LJD- und die JCZ-Zustandsgleichungen gehören zu den Methoden, die, unter Verwendung eines intermolekularen Potentialansatzes, Gittermodelle benutzen. Bei den Gittermodellen geht man von der Annahme aus, daß die Moleküle in der fluiden Phase auf Gitterplätzen eines dreidimensionalen Gitters sitzen und mit ihren Nachbarn in Wechselwirkung treten.

Zu den neueren und theoretisch fundierteren Zustandsgleichungen der Detonationsphysik zählen die erstmals von R. Chirat und G. Pittion-Rossillon verwendeten und später von F. Ree entscheidend verbesserten störungstheoretischen Methoden.

Die Störungstheorie gehört zu den Verfahren, die die bedeutendsten Fortschritte in der statistischen Thermodynamik der Fluide in den letzten 15 Jahren verzeichnen konnte.

R. Chirat und F. Pittion-Rossillon verwenden eine vereinfachte WCA-Störungstheorie, während F. Ree die MCRS-Hartkugelvariationstheorie einsetzt. Beide Methoden gehen von dem α-Exp-6 Potentialmodell aus und ergeben theoretische Chapman-Jouget-Detonationsgeschwindigkeiten und -drücke, die für eine Vielzahl von Explosivstoffen innerhalb der Meßgenauigkeit der praktisch erhaltenen Werte liegen.

Trotz dieser, in den letzten Jahrzehnten auf dem Gebiet der Detonationsphysik gemachten Fortschritte, existieren in diesem Bereich noch eine Vielzahl von Erscheinungen, die quantitativ noch in keiner Weise verstanden werden. Dazu zählen besonders die instationären mehrdimensionalen Detonationsvorgänge gasförmiger, flüssiger oder kondensierter Körper.

Literatur:

R. Becker: Z. Phys. 4, 393 (1921)R. Becker: Z. Techn. Phys. 3, 249 (1922)
M. Cowperthwaite and *W. H. Zwisler:* Proceedings of the Sixth International Symposium on Detonation, edited by D. J. Edwards, ACR-221 (Office of Naval Research, Department of the Navy), 162 (1976)
F. Volk and *H. Bathelt:* Propellants Explos. 1, 7 (1976)
H. Hornberg: Propellants Explos. 3, 97 (1978)
C. L. Mader: Numerical Modeling of Detonation, University of California Press, Berkeley (1979)
R. Chirat und *G. Pittion-Rossillon:* J. Chem. Phys. 74, 4634 (1981)
R. Chirat und *G. Pittion-Rossillon:* Combust. Flame 45, 147 (1982)
F. H. Ree: J. Chem. Phys. 81, 1251 (1984)
F. H. Ree: J. Chem. Phys. 84, 5845 (1986)
F. E. Walker: Propellants Explos. 15, 157 (1990)
F. E. Walker: Propellants Explos. 19, 315 (1994)

Literatur über Explosivstoffe

Bücher*)

1. Lehr- und Handbücher:

Escales, R.: Die Schießbaumwolle, Veit, Leipzig 1905
Escales, R.: Nitroglycerin und Dynamit, Veit, Leipzig 1908
Escales, R.: Ammonsalpetersprengstoffe, Veit, Leipzig 1909
Escales, R.: Chloratsprengstoffe, Veit, Leipzig 1910
Brunswig, H.: Schlagwettersichere Sprengstoffe, W. de Gruyter, Leipzig 1910
Escales, R.: Nitrosprengstoffe, Veit, Leipzig 1915
Escales, R. und *Stettbacher, A.:* Initialsprengstoffe, Veit, Leipzig 1917
Kast, H.: Spreng- und Zündstoffe, Vieweg, Braunschweig 1921
Brunswig, H.: Explosivstoffe, W. de Gruyter, Leipzig 1923
Beyling, C. und *Drehkopf, K.:* Sprengstoffe und Zündmittel, Springer, Berlin 1936
Stettbacher, A.: Spreng- und Schießstoffe, Rascher, Zürich 1948
Naoum, Ph. und *Berthmann, A.:* Explosivstoffe, Hanser, München 1954
Davis, T. L.: The Chemistry of Powder and Explosives, Wiley, New York 1956
Cook, M. A.: The Science of High Explosives, Chapman & Hall, London 1958, korrig. Nachdruck 1971 (Robert E. Krieger Publishing Co. Inc., Huntington, NY, American Chemical Society Monograph Series No. 139); deutsche Übersetzung: Lehrbuch der brisanten Sprengstoffe, MSW-Chemie, Langelsheim 1965
McAdam, R. und *Westwater, R.:* Mining Explosives, Oliver & Boyd, London 1958
Taylor, J. und *Gay, P. F.:* British Coal Mining Explosives, George Newnes, London 1958
Taylor, W.: Modern Explosives, The Royal Institute of Chemistry, London 1959
Berthmann, A.: Explosivstoffe, in: Winnacker-Küchler, Chemische Technologie, 3. Aufl., Hanser, München 1972, Bd. 5, S. 463–527
Urbanski, T.: Chemie und Technologie der Explosivstoffe, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1961–1964, (3 Bde); englische erweiterte Auflage: Chemistry and Technology of Explosives, Pergamon Press, Oxford 1964–1967, 1984 (4 Bde)
Kreuter, Th.: Spreng- und Zündmittel, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1962

*) Die Reihenfolge wurde nach den Erscheinungsjahren vorgenommen. Die vor 1950 datierten Titel haben nur noch historisches Interesse, sind vergriffen und nur in wenigen Bibliotheken zu finden.

Roth, J.F.: Sprengstoffe, in: Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 3. Aufl., Urband & Schwarzenberg, München und Berlin 1965, Bd. 16, S. 56–109
Calzia, J.: Les Substances Explosives et leurs Nuisances, Dunod, Paris 1969
Newhouser, C.R.: Introduction to Explosives, The National Bomb Data Center, Gaithersburg, USA 1973
Cook, M.A.: The Science of Industrial Explosives, IRECO Chemicals, Salt Lake City, Utah, USA, 1974
Oswatitsch, K.: Grundlagen der Gasdynamik, Springer, Wien, New York 1976
Romocki, S.J. von: Geschichte der Explosivstoffe, Bd. 1 und 2, Verlag Gerstenberg, Hildesheim, 1976, Nachdruck der Originalausgabe 1895/96, Berlin
Bartknecht, W.: Explosionen, 2. Aufl., Springer, Berlin 1980
Fordham, S.: High Explosives and Propellants, 2. Aufl., Pergamon Press, Oxford, New York 1980
Biasutti, G.S.: Histoire des Accidents dans l'Industrie des Explosifs, Hrsg. Mario Biazzi, Vevey 1978, engl. Ausgabe 1985
Lingens, P., Prior, J. und *Brachert, H.:* Sprengstoffe, in: Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 4. Aufl., VCH-Verlagsges., Weinheim 1982, Bd. 21, S. 637–697
Brunisholz, A., Hildebrand, C. und *Leutwyler, H.:* Pulver, Bomben und Granaten. Die Pulvermacher einst und jetzt. Lang Druck AG, Liebefeld, Bern, 1983
Lafferenz, R. und *Lingens, P.:* Explosivstoffe, in: Winnacker-Küchler, Chemische Technologie, Hanser, München 1986, 4. Aufl., Bd. 7
Meyer, R.: Explosives, 3. Aufl., VCH-Verlagsges., Weinheim, New York 1987
Baily, A. und *Murray, S.G.:* Explosives, Propellants & Pyrotechnics, Pergamon Press, Oxford, New York 1988
Ganzer, U.: Gasdynamik, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1988
Olah, G.A.; Malhotra, R. und *Narang, S.C.:* Nitration, Methods and Mechanisms, VCH-Verlagsges., Weinheim 1989
Nitro Compounds, Recent Advances in Synthesis and Chemistry, Hrsg. *Feuer, H.* und *Nielsen, A.T.,* VCH-Verlagsges., Weinheim 1990
Chemistry of Energetic Materials, Hrsg. *Olah, G.A.* und *Squire, D.R.,* Academic Press, London 1991
Meyer, R. und *Köhler, J.:* Explosives, 4. Aufl., VCH-Verlagsges., Weinheim, New York 1993
Structure and Properties of Energetic Materials, Hrsg. *Liebenberg, D.H., Armstrom, R.W.* und *Gilman, J.J.*, Materials Research Society (MRS), Pittsburgh, USA, 1993 (Symposium Series Vol. 293)
Köhler, J. und *Meyer, R.:* Explosivstoffe, 8. überarbeitete Auflage, VCH-Verlagsges. mbH, Weinheim, 1995

Hazardous Materials Handbook, Hrsg.: *Pohanish, R. B.* und *Greene, S. A.,* Chapman & Hall, London, UK, 1996
Nitration – Recent Laboratory and Industrial Developments, Hrsg.: *Albright, F. L., Carr, R. V. C., Schmitt, R. J.,* American Chemical Society (ACS), Washington, DC, USA, 1996 (ACS Symposium Series Vol. 608)
SIPRI Yearbook 1997 – Armaments, Disarmament and International Security, Stockholm International Peace Research Institute, Oxford University Press, Oxford, UK, 1997
Synthesis, Characterization and Properties of Energetic/Reactive Nanomaterials, Eds. Armstrong, R., Thadhani, N., Wilson, W., Gilman, J., Simpson, R., Material Research Society (MRS), Warrendale, PA, USA (Symposium Proceeding Vol. 800)
Energetic Materials - Particles Processing and Characterization, Ed. Teipel, U.,WILEY-VCH Verlag, Weinheim, Germany, 2005, ISBN 3-527-30240-9
Insensitive Energetic Materials – Particles, Crystals, Composites, Eds.: Teipel, U., Herrmann, M., (Symposium Proceeding), Fraunhofer IRB Verlag, 2007, Stuttgart, Germany, ISBN 978-3-8167-7328-3
Organic Chemistry of Explosives
J. P. Agrawal, R. D. Hodgson; John Wiley & Sons, Ltd. 2006; ISBN: 978-0-470-02967-1

2. Anwendungstechnik:

Peithner-Jenne: Handbuch des Sprengwesens, ÖGB, Wien 1951
Lathan, W.: Bohr- und Schießarbeiten, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1960
Fraenkel, H.: Handbuch für Sprengarbeiten, Atlas Diesel AB, Stockholm 1953–1963
Langefors, U. und *Kihlström, B.:* The Modern Technique of Rock Blasting, Al*Peithner-Jenne:* Handbuch des Sprengwesens, ÖGB, Wien 1951
Lathan, W.: Bohr- und Schießarbeiten, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1960
Fraenkel, H.: Handbuch für Sprengarbeiten, Atlas Diesel AB, Stockholm 1953–1963
Langefors, U. und *Kihlström, B.:* The Modern Technique of Rock Blasting, Almquist & Wiksell, Stockholm 1963
Biermann, G.: Neuzeitliche Sprengtechnik, Bauverl. Wiesbaden, Berlin 1966
Cole, R. H.: Underwater Explosions, Dover Publ., New York 1965
Wahle M. und *Begrich, K.:* Der Sprengmeister, Heymanns, Köln 1969
Holluba, H.: Sprengtechnik, 3. Aufl., Österreichischer Gewerbeverlag, Wien 1985
Saint-Arroman, Ch.: Pratique des Explosifs, Eyrolles, Paris 1977
Thum, W. und *Hattwer, A.:* Sprengtechnik im Steinbruch und Baubetrieb, Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin 1978

Blasters Handbook, Du Pont de Nemours, Wilmington 1980; laufende Neuauflagen
Weichelt, F.: Handbuch der Sprengtechnik, 6. Aufl., VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1969
Bodurtha, F.T.: Industrial Explosion, Prevention and Protection, McGraw-Hill, New York 1980
Manual Bickford, Etbls. Davey Bickford, Rouen
Blasting Practice, ICI, Nobel Division, Stevenston, England
Gustafson, R.: Swedish Blasting Technique, SPI, Gothenburg, Schweden 1981
Waffentechnisches Taschenbuch, 6. Aufl., Hrsg. Rheinmetall GmbH, Düsseldorf 1983
Wild, H.W.: Sprengtechnik im Berg-, Tunnel- und Stollenbau, 3. Aufl., Verlag Glückauf, Essen 1984
Sprengtechnik. Begriffe, Einheiten, Formelzeichen, DIN 20163, Beuth-Vertrieb GmbH, Köln und Berlin 1985
Sprengtechnik, Anwendungsgebiete und Verfahren, Hrsg. *H. Heinze*, 2. Aufl., Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, Stuttgart 1993
Shock Waves for Industrial Applications, Hrsg. *Murr, L.E.*, Noyes Publications, Park Ridge, New York 1989
Jahrbuch der Wehrtechnik, 1–21, Bernard & Graefe Verlag, Koblenz 1966–1992
Cooper, P.W.: Explosives Engineering, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, New York, 1996
Vogel, G.: Zünden von Sprengladungen, Verlag: Hartmann, Leopold, 2000

3. Spezialgebiete:

Naoum, Ph.: Nitroglycerin und Nitroglycerinsprengstoffe, Springer, Berlin 1924
Fabel, K.: Nitrocellulose, Enke, Stuttgart 1950
Miles, F.D.: Cellulose Nitrate, Oliver & Boyd, London 1955
Kraus, A.: Handbuch der Nitrocellulose-Lacke, 3 Bde., Pansegrau, Berlin 1955–1961
Nauckhoff, S. und *Bergström, O.:* Nitroglycerin och Dynamit, Nitroglycerin A.B. Gyttorp 1959
Schumacher, J.C.: Perchlorates, their Properties, Manufacture and Use, Reinhold, New York 1960
Feuer, H.: The Chemistry of Nitro and Nitroso Groups, Interscience Publ., New York 1969
Lindemann, E.: Nitrocellulose, in: Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 3. Aufl., Urban & Schwarzenberg, München und Berlin 1960, Bd. 12, S. 789–797
Fair, H.D. und *Walker, R.F.:* Energetic Materials, 2 Bde. (über Azide), Plenum Press, New York und London 1977

Brachert, H.: Nitrocellulose, in: Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, Verlag Chemie, Weinheim 1979, 4. Aufl., Bd. 17, S. 343–354
Cross, J. und *Farrer, D.:* Dust Explosions, Plenum Press, New York 1982
Field, P.: Dust Explosions, Elsevier, Amsterdam 1982
Biasutti, G. S.: History of Accidents in the Explosives Industry, Eigenverlag, Vevey, Schweiz 1985
Bartknecht, W.: Staubexplosionen, Springer, Berlin 1987; engl. Übers.: Dust Explosions, 1989
Quinchon, J. und *Tranchant, J.:* Nitrocelluloses, the Materials and their Applications in Propellants, Explosives and other Industries, Ellis Horwood Ltd., Chichester 1989
Toxicity and Metabolism of Explosives, Hrsg. Yinon, J., CRC Press c/o Wolfe Publishing Ltd., London 1990
Structure and Properties of Energetic Materials, Hrsg.: *Liebenberg, D. H., Armstrong, R. W., Gilman, J. J.,* Materials Research Society (MRS), Pittsburgh, PA, USA, 1993 (Symposium Series Vol. 293)
Handbook of Harzardous Materials, Hrsg.: *Corn, M.,* Academic Press Inc., New York, London, 1993
Nitro Carbons, Hrsg.: *Nielsen, A. T.,* VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, 1995
Liquid Rocket Engine Combustion Instability, Hrsg.: *Yang, V.* und *Anderson, W. E.,* Progress in Astronautics and Aeronautics, Vol. 169, AIAA, Washington, DC, USA, 1995
Introduction in the Technology of Explosives, Hrsg.: *Cooper, P. W.* und *Kurowski, S. R., VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, 1996*
Marinkas, P. L.: Organic Energetic Compounds, Nova Science Publishers, Inc., New York, USA, 1996
Ono, N.: The Nitro Group in Organic Synthesis, Wiley-VCH Verlag, Weinheim 2001

4. Treibstoffe, Raketenantriebe

Brunswig, H.: Das rauchlose Pulver, W. de Gruyter, Berlin und Leipzig 1926
Muraour, J.: Poudres et Explosifs, Vendome 1947
Zähringer, A. J.: Solid Propellant Rockets, Wyandotte 1958
Taylor, J.: Solid Propellants and Exothermic Compositions, George Newnes, London 1959
Kit, B. und *Evered, D. S.:* Rocket Propellant Handbook, Macmillan, New York 1960
Penner, S. S. und *Ducarme, J.:* The Chemistry of Propellants and Combustion, Pergamon Press, London 1960
Summerfield, M.: Solid Propellant Rocket Research, Academic Press, London 1960

Wiech, R. E. und *Strauss, R. F.:* Fundamentals of Rocket Propulsion, Reinhold, New York 1960
Warren, F. A.: Rocket Propellants, Reinhold, New York 1960
Barrère, M., u. a.: Raketenantriebe, Elsevier, Amsterdam 1961 (engl. Ausgabe: Rocket Propulsion, 1960)
Penner, S. S.: Chemical Rocket Propulsion and Combustion Research, Gordon & Breach, New York, London 1962
Hagenmüller, P.: Les Propergols, Gauthlers-Villars, Paris 1966
Pollard, F. B. und *Arnold, J. H.:* Aerospace Ordnance Handbook, Prentice Hall, Englewood, New Jersey 1966
Samer, S. F.: Propellant Chemistry, Reinhold, New York 1966
Dadieu, A., Damm, R. und *Schmidt, E. W.:* Raketentreibstoffe, Springer, Wien 1968
Tavernier, P., Boisson, J. und *Crampel, B.:* Propergols Hautement Energétiques, Agardograph Nr. 141, 1970 (AGARD Publication)
Köhler, H. W.: Feststoff-Raketenantriebe, 2 Bände, Girardet Essen 1971/72
Schmucker, P. H.: Hybrid-Raketenantriebe, Goldmann, München 1972
James, R.: Propellants and Explosives, Noyes Data Corporation, Park Ridge, New Jersey 1974
Sutton, G. P. und *Ross, D. M.:* Rocket Propulsion Elements, 4. Aufl., Wiley, New York 1976
Wolff, W.: Raketen und Raketenballistik, 4. Aufl., Militärverlag der DDR, Berlin 1976
Baker, D.: The Rocket. The History and Development of Rocket and Missile Technology, New Cavendish Books, London 1978
Cornelisse, J. W., Schöyer, H. F. R. und *Walker, K. F.:* Rocket Propulsion and Spaceflight Dynamics, Pittman, London 1979
Davenas, A. u. a.: Technologie des propergols solides, Série SNPE, Masson, Paris 1988
Gun Propulsion Technology, Hrsg. Stiefel, L., AIAA, New York 1988, Progress in Astronautics and Aeronautics, Vol. 109
Quinchon, J. und Mitarbeiter: Les poudres, propergols et explosifs, Technique et Documentation, Paris:
Tome 1: Les explosifs, 1982, 2. Aufl. 1987
Tome 2: Les nitrocelluloses et autres matières de base des poudres et propergols, 1984
Tome 3: Les poudres pour armes, 1986
Tome 4: Les propergols, 1991
Davenas, A.: Solid Rocket Propulsion Technology, Pergamon Press New York 1993
Challenges in Propellants and Combustion – 100 Years after Nobel, Hrsg.: *Kuo, K. K.* et al., Begell House, Inc., New York, USA, 1997

5. Pyrotechnik:

Ellern, H.: Modern Pyrotechnics, Fundamentals of Applied Physical Pyrochemistry, Chemical Publishing Comp. Inc., New York 1961
Ellern, H.: Military and Civilian Pyrotechnics, Chemical Publishing Comp. Inc., New York 1968
Brauer, K. O.: Handbook of Pyrotechnics, Chemical Publishing Co, Brooklyn, New York 1974
Shimizu, T.: Feuerwerk (vom physikalischen Standpunkt aus), Hower Verlag, Hamburg 1978
Clark, F. P.: Special Effects in Motion Pictures, Society of Motion Pucture and Television Engineers, Inc., 862 Scarsdale Avenue, Scarsdale, New York 10 583, Second Printing 1979
McLain, J. H.: Pyrotechnics, from the Viewpoint of Solid State Chemistry, Franklin Research Center Norristown, PA, 1980
Shimizu, T.: Fireworks, the Art, Science and Technique, Maruzen, Tokio 1981
Barbour, R. T.: Pyrotechnics in Industry, McGraw-Hill International Book Company, New York 1981
Philipp, Ch.: A Bibliography of Firework Books, Works on Recreative Fireworks from the 16^{th} to 20^{th} Century, St. Pauls Biographies, Winchester, Hampshire 1985
Conkling, J.: Chemistry of Pyrotechnics, Basic Principles and Theory, Marcel Dekker Inc., New York 1985
Pyrotechnica I-XV, 1977–1993, Hrsg. *Cardwell, R. G.*, Pyrotechnica Publications, Austin, Texas (unregelmäßig)
Lancaster, R. u. a.: Fireworks, Principles and Practice, 2. Aufl., Chemical Publishing Comp. Inc., New York 1992
Safety of Reactive Chemicals and Pyrotechnics, Hrsg.: *Yoshida, T., Wada, Y., Foster, N.,* Elsevier Science, Amsterdam, New York, 1995

6. Detonations- und Abbrandvorgänge:

Jouquet, E.: Mecanique des Explosifs, Doin et Fils, Paris 1917
Becker, R.: Stoßwelle und Detonation, Z. Physik 9, 321–362 (1922)
Bowden, F. P. und *Yoffe, A. D.:* Initiation and Growth of Explosions in Liquids and Solids, Cambridge University Press, Cambridge 1952, Nachdruck 1985
Taylor, J.: Detonation in Condensed Explosives, Clarendon Press, Oxford 1952
Bowden, F. P. und *Yoffe, A. D.:* Fast Reactions in Solids, Butterworth London 1958
Penner, S. S. und *Mullins, B. P.:* Explosions, Detonations, Flammability and Ignition, Pergamon Press, London, New York 1959
Zeldovich, J. B. und *Kompaneets, A. S.:* Theory of Detonation (Übersetz.), Academic Press, New York und London 1960

Berger, J. und *Viard, J.:* Physique des explosifs, Dunod, Paris 1962
Andrejev, K.K.: Thermische Zersetzung und Verbrennungsvorgänge bei Explosivstoffen (Übersetz.), Barth, Mannheim 1964
Andrejev, K.K. und *Beljajev, A.F.:* Theorie der Explosivstoffe (Übersetz.), Svenska National Kommittee för Mekanik, Stockholm 1964
Zeldovich, J.B. und *Raizer, J.:* Physics of Shock Waves and High Temperature, Hydrodynamic Phenomena (Übersetz.), Academic Press, New York, London 1966
Lee, J.H., Knystautas, R. und *Bach, G.G.:* Theory of Explosion, McGill University Press, Montreal 1969
Johansson, C.H. und *Persson, P.A.:* Detonics of High Explosives, Academic Press, London, New York 1970
Büchner, E.: Zur Thermodynamik von Verbrennungsvorgängen, 2. Aufl., München 1974
Glassmann, I.: Combustion, Academic Press, New York 1977
Turbulent Combustion, Hrsg.: *Kennedy, L.A.,* AIAA, New York 1978
Fickett, W. und *Davis, W.C.:* Detonation, University of California Press, Berkeley 1979
Mader, Ch.: Numerical Modeling of Detonations, University of California Press, Berkeley 1979
Combustion Chemistry, Hrsg.: *Gardiner Jr., W.C.,* Springer, New York 1984
The Chemistry of Combustion Processes, Hrsg.: *Sloane, Th.H.,* ACS Symposium Series No 249, American Chemical Society, Washington 1984
Duguet, J.-R.: Les explosifs primaires et les substances d'initiation, Masson, Paris 1984
Fundamentals of Solid Propellant Combustion, Hrsg.: *Kuo, K.K.* und *Summerfield, M.,* Progress in Astronautics and Aeronautics, Vol. 90, AIAA, New York 1984
Lewis, B. und *Elbe, G.* von: Combustion, Flames and Explosives of Gases, 3. Aufl., Academic Press, Orlando, Florida 1987
Energetic Materials: New Synthesis Routes, Ignition, Propagation and Stability of Detonation, Hrsg.: *Field, J.E.* und *Gray, P.,* The Royal Society, London 1992
Nonsteady Burning and Combustion Stability of Solid Propellants, Hrsg.: *De Luca, L., Price, E.W., Summerfield, M.,* Progress in Astronautics and Aeronautics, Vol. 143, AIAA, Washington, DC, USA, 1992
Bartknecht, W. und *Zwahlen, G.:* Explosionsschutz. Grundlagen und Anwendungen, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1993
Chéret, R.: Detonation of Condensed Explosives, Springer Verlag, Berlin 1993
Combustion of Boron-Based Solid Propellants and Solid Fuels, Hrsg.: *Kuo, K.K.,* CRC Press Inc., London 1993
S.S. Batsanov: Effects of Explosions on Materials – Modification and

Synthesis under High Pressure Shock Compression, Springer-Verlag, Berlin, New York, London, 1994
Decomposition, Combustion, and Detonation Chemistry of Energetic Materials, Hrsg.: *Brill, T.B., Russel, P.B., Tao, W.C., Wardle, R.B.,* Materials Research Society (MRS), Pittburgh, PA, USA, 1996 (Symposium Series Vol. 418)

7. Militärische Sprengstoffe und Munition; Ballistik:

Cranz, C.: Lehrbuch der Ballistik (3 Bde.), Springer, Berlin 1925–1927
Hänert: Geschütz und Schuß, Springer, Berlin 1940
Kutterer, E.K.: Ballistik, Vieweg & Sohn, Braunschwein 1942
Gallwitz, U.: Die Geschützladung, Heereswaffenamt, Berlin 1944
Ohart, T.C.: Elements of Ammunition, Wiley, New York 1952
Hofmann, Fr.: Praktische Sprengstoff- und Munitionskunde, Wehr und Wissen, Darmstadt 1961
Noack, H.: Lehrbuch der militärischen Sprengtechnik, Dt. Militärverlag, Berlin 1966
Ellern, H.: Military and Civilian Pyrotechnics, Chemical Publishing Comp. Inc., New York 1968
Tomlinson, W.R.: Properties of Explosives of Military Interest, Picatinny Arsenal, Dover, N.J. 1971
Gorst, A.G.: Pulver und Sprengstoffe, Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik, Berlin 1977
Interior Ballistics of Guns, Hrsg.: *Krier, R.* u.a., Progress in Astronautics and Aeronautics, Vol. 66, AIAA, New York 1979
Farrar, C.L. und *Leeming, D.W.:* Military Ballistics. A Basic Manual, Brassey's Publishers Ltd., Oxford 1983
Waffentechnisches Taschenbuch, 6. Aufl., Hrsg.: *Rheinmetall GmbH*, Düsseldorf 1983
Goad, K.J.W. und *Archer, E.:* Ammunition, Pergamon Press, Oxford, New York 1990
Untersuchung von Rüstungsaltlasten, Hrsg.: *Spyra, W., Lohs, K.H., Preussner, M., Rüden, H., Thomé-Kozmiensky, K.J.,* EF-Verlag für Energie und Umwelttechnik GmbH, Berlin, 1991
Insensitive Munitions, AGARD Conference Proceedings CP511, North Atlantic Treaty Organization, Neuilly sur Seine, France, 1992
Rock Blasting and Explosives Engineering, Hrsg.: *Persson, P.A., Holmberg, R., Lee, J.,* CRC Press Inc., Boca Raton, FL, USA, 1993
Jane's Ammunition Handbook, 2. Aufl., Hrsg.: Jane's Information Group, Coulsdon, UK, 1994 (auch als CD-ROM)
Explosivstoffabriken in Deutschland, Hrsg.: *Trimborn, F.,* Verlag Locher, Köln, 1995

8. Untersuchungsmethoden, Analytik:

Berl-Lunge: Chemisch-Technische Untersuchungsmethoden, Bd. 3: Explosivstoffe und Zündwaren, Springer, Berlin 1932
Kast, H. und *Metz, L.:* Chemische Untersuchung der Spreng- und Zündstoffe, Vieweg, Braunschweig 1944 (2. Aufl.)
Analytical Methods for Powders and Explosives, Bofors A.B., Göteborg 1960
Krien, G. Thermoanalytische Ergebnisse der Untersuchung von Sprengstoffen, Bericht Az. 3.0–3/3960/76, Bundesinstitut für Chemisch-Technische Untersuchungen, Swisttal-Heimerzheim 1976
Malone, H.E.: Analysis of Rocket Propellants, Academic Press, London 1977
Yinon, J. und *Zitrin, S.:* The Analysis of Explosives, Pergamon Press, Oxford, New York 1981
Combustion Measurements, Hrsg.: *Chigier, N.,* Hemisphere Publishing Company, Washington, London, Philadelphia 1991
Determiniation of Thermodynamic Properties, Hrsg., *Rossiter, B.W.,* John Wiley & Sons, Chichester, England 1992
Yinon, J. und *Zitrin, S.:* Modern Methods and Applications in Analysis of Explosives, John Wiley & Sons, Chichester, England, 1993
Sucéska, M.: Test Methods for Explosives, Springer-Verlag, Berlin, New York, 1995

9. Enzyklopädien und Tabellenwerke:

Schmidt, A.: Thermochemische Tabellen für die Explosivchemie, Z. ges. Schieß- und Sprengstoffwesen 29 (1934), S. 259 u. 296
Médard, M.L.: Tables Thermochimiques, Mémorial de l'Artillerie Française 28, 415–492 (1954); Imprimerie Nationale, Paris 1954
Selected Values of Chemical Thermodynamics Properties, NBS Technical Note 270, 1968
Stull, D.R., Westrum, E.F. und *Sinke, G.C.:* The Chemical Thermodynamics of Organic Compounds, Wiley, New York 1969
Cox, J.D. und *Pilcher, G.:* Thermochemistry of Organic and Organometallic Compounds, Academic Press, London 1970
Volk, F., Bathelt, H. und *Kuthe, R.:* Thermodynamische Daten von Raketentreibstoffen, Treibladungspulvern und Sprengstoffen, sowie deren Komponenten, Tabellenwerk, Band I und Band II, 1972, 1. Erg. 1981, Selbstdruck des Fraunhofer-Instituts für Chemische Technologie (ICT), Pfinztal-Berghausen
Rossi, B.D. und *Podugnakov, Z.G.:* Commerical Explosives and Initiators, a Handbook, Übersetzung aus dem Russischen, NTIS National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield 1973
Volk, F. und *Bathelt, H.:* ICT Thermochemical Data Base, Diskette mit

Handbuch, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT), Pfinztal-Berghausen, 1994, 3. Update 1997
Kirk-Othmer, Encyclodpedia of Chemical Technology, 2. Aufl., Wiley, New York 1963–1971; Stichworte:
Explosives and Propellants, Bd. 8
Pyrotechnics, Bd. 16
JANAF Thermochemicals Tables, Hrsg.: *Stull, D.* und *Prophet, H.,* National Standard Reference Data Series, National Bureau of Standards, Midland, Michigan, USA; 2. Aufl. 1971, Erg. Bände 1974–1982
Moda, M.C.: Explosive Property Data, University of California Press, Berkeley, California 1980
LASL Explosive Property Data, Hrsg.: *Gibbs, T.R.* und *Popolato, A.,* University of California Press, Berkeley, California 1980
LASL Phermex Data, Bde. 1–3, Hrsg.: *Mader, Ch.L.,* University of California Press, Berkeley, California 1980
LASL Shock Hugoniot Data, Hrsg.: *Marsh, St.P.,* University of California Press, Berkeley, California 1980
LLNL Explosives Handbook: Properties of Chemical Explosives and Explosive Simulants, Hrsg.: *Brigitta M. Dobratz,* UCLR-52997, Livermore, California 1981; erhältlich bei: National Technical Information Service, US Department of Commerce, Springfield, VA 22161, USA
Los Alamos Explosives Performance Data, Hrsg.: *Mader, Ch.L., Johnson, J.N.* und *Crane, Sh.L.,* University of California Press, Berkeley, California 1982
Los Alamos Shock Wave Profile Data, Hrsg.: Morris. Ch. E., University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London 1982
Encyclopedia of Explosives and Related Items. PATR 2700, Hrsg.: *Seymour M. Kaye, Dover, N.J.* (USA), Vol. 1–10, 1960–1983; erhältlich bei: National Technical Information Service, US Department of Commerce, Springfield, Virginia 22161, USA
Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 4. Aufl, 25 Bde., Verlag Chemie, Weinheim 1972–1984; Stichworte:
Nitrocellulose, Bd. 17
Pyrotechnik, Bd. 19
Raketentreibstoffe, Bd. 20
Sprengstoffe, Bd. 21
Kirk-Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology, 3. Aufl., 26 Bde., Wiley, New York 1978–1984; Stichworte:
Explosives and Propellants, Bd. 9
Pyrotechnics, Bd. 19
DOE Explosives Safety Manuel, US Department of Energy, Springfield, VA 1989
Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 5. Aufl., VCH-Verlagsges. Weinheim, 1985–1996, 37 Bde., (auch als CD-ROM); Stichworte:

Explosives, Bd. A10
Propellants, Bd. 22A
Pyrotechnics, Bd. 22A
Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 4. Aufl., 27 Bde., John Wiley & Sons Ltd., Chichester, New York, 1991–1998; Stichworte:
Explosives and Propellants Bd. 10

10. Behördliche Vorschriften, Gesetze, Kommentare

Apel/Keusgen: Sprengstoffgesetz, Carl Heymanns Verlag, Köln, Band 1: Sprengstoffrechtliche Vorschriften, Stand: November 2002, 54. Lfg.; Band 2: Kommentar, 2. Aufl., Stand: Februar 2001, 13. Lfg., (Loseblattwerk); darin auch: Sprengstofflager-Richtlinien; Vorschriften über die Beförderung explosionsgefährlicher Stoffe; Landesrechtliche Vorschriften
Berufsgenossenschaftliche Vorschriften für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit; das Explosivstoffgebiet betreffende Einzelvorschriften mit Durchführungsanweisungen:
BGV „Explosivstoffe – Allgemeine Vorschrift“, (BGV B5), 04/95; 1/97; 04/01
BGV „Schwarzpulver“, (BGV D37), 10/90; 01/97
BGV „Treibladungspulver“, (BGV D38), 10/91; 10/97
BGV „Feste, einheitliche Sprengstoffe“, (BGV D39), 10/92; 01/97
BGV „Sprengöle und Nitratsprengstoffen“, (BGV D40), 04/96; 01/97
BGV „Zündstoffe“, (BGV D41), 10/91; 10/97
BGV „Pulverzündschnüre und Sprengschnüre“, (BGV D42), 10/91; 01/97
BGV „Herstellen pyrotechnischer Gegenstände“, (BGV D43), 04/81; 04/91; 01/97
BGV „Munition“, (BGV D44), 10/88; 01/97
BGV „Sprengarbeiten“, (BGV C24), 04/85; 10/94; 01/97
Berufsgenossenschaftliche Richtlinien (Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften), Carl Heymanns Verlag, Köln:
Richtlinien für Elektrische Anlagen und deren Betriebsmittel in explosivstoffgefährdeten Bereichen (Richtlinie Nr. 17 der BG Chemie), April 1982, ZH 1/227, Neuausgabe in Vorbereitung
Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit:
Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz beim Zerlegen von Gegenständen mit Explosivstoff odr beim Vernichten von Explosivstoff oder Gegenständen mit Explosivstoff (BGR 114 – Regel „Explosivstoff-Zerlege- oder Vernichteregeln“), 01/1996

The Handling and Storage of Liquid Propellants. Office of the Director of Defense Research and Engineering, Washington D. C., 1963

Ridder, K.: Gefahrgut-Handbuch, Ecomed Verlagsges., Landsberg a. Lech 1987, Bd. I-VII, Stand: 99. Lfg. 1997 (Loseblattausgabe)
Hommel, G.: Handbuch der gefährlichen Güter, Gesamtwerk, Springer-Verlag, Merkblätter 1–1612 (2. Aufl.), Erläuterungen und Synonymliste, Dez. 1996, Transport und Gefahrenklassen 1997, Loseblattsammlung in 7 Ordnern
Gefahrgutverordnung Straße und Eisenbahn – GGVSE, Bundesgesetzblatt, verschiedene Verlage
Gefahrgutverordnung See – GGVSee, Bundesgesetzblatt, verschiedene Verlage
Recommendations on the Transport of Dangerous Goods, 12. Auflage, United Nations, New York and Geneva, 2001
Recommendations on the Transport of Dangerous Goods; Manual of Tests and Criteria, 3. Auflage, United Nations, New York and Geneva, 1999
Empfehlungen für die Beförderung gefährlicher Güter; Handbuch über Prüfungen und Kriterien, Vereinte Nationen, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven
ADR, deutsche Übersetzung, Bundesgesetzblatt, verschiedene Verlage
RID, deutsche Fassung, Bundesgesetzblatt, verschiedene Verlage
IMDG Code, International Maritime Organization (IMO), London, 2002
IMDG Code deutsch, Bundesanzeiger, verschiedene Verlage
ICAO TI, International Civil Aviation Organization Technical Instructions for the Safe Transport of Dangerous Goods by Air, Montreal, 2003
IATA DGR, International Air Transport Association Dangerous Goods Regulations, Montreal, 2003
Sorbe, G.: Sicherheitstechnische Kenndaten, Gefahrenindex chemischer Stoffe, Stand: März 1997, 60. Lfg., Ecomed Verlag, Landsberg/Lech (Loseblattwerk)
MAK- und BAT-Werte Liste 1997 (Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und biologische Arbeitsstofftoleranzwerte), Mitt. 33, 1997 (jährlich neu), Hrsg. Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim
Kühn/*Birett:* Merkblätter Gefährliche Arbeitsstoffe, Stand: Sept. 1997, 101. Lfg., Ecomed Verlag, Landsberg/Lech (Loseblattwerk)
Weinmann/*Thomas:* Gefahrstoffverordnung. Teil 1: mit Chemikaliengesetz, Stand: 1997, 8. Lfg., Teil 2: Technische Regeln (TRGS) und ergänzende Bestimmungen zur Verordnung über gefährliche Stoffe, Stand: Febr. 1997, 27. Lfg., Carl Heymanns Verlag, Köln, Berlin (Loseblattwerk)
Nöthlichs Gefahrstoffe, Kommentar zu Chemikaliengesetz und Gefahrstoffverordnung, Stand: Juli 1997, 47. Lfg., Erich Schmidt Verlag, Berlin (Loseblattwerk)

Verordnung zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Gefahrstoffverordnung) vom 26. Okt. 1993, geändert 24. Febr. und 15. April 1997, mit Liste der gefährlichen Stoffe und Zubereitungen nach § 4a, Carl Heymanns Verlag, Köln, 12. Auflage 1997

Zeitschriften

AIAA-Journal, AIAA, New York
Acta Astronautica, Pergamon Press, New York, Oxford
Bohren, Sprengen, Räumen, Erwin Barth Verlag, Neustadt/Weinstraße
Bundesarbeitsblatt: Beilage Arbeitsschutz, Stuttgart
Combustion, Explosion and Shock Waves, Faraday Press, New York (cover to cover translation of Fizika Goreniya Vzryva)
Combustion and Flame, American Elsevier Publ. Comp., New York
Combustion Science and Technology, Gordon and Breach Science Publ., New York, London, Paris
Explosifs, Edition Commerciales Industrielles, Brüssel
Explosivstoffe, Erwin Barth Verlag, Neustadt/Weinstraße (bis 1974)
Explosives Engineer, Wilmington, Delaware (bis 1961)
Glückauf, Verlag Glückauf, Essen
Gefährliche Ladung, K.O. Storck Verlag, Hamburg
Industrie der Steine und Erden, herausgegeben von der Steinbruchsberufsgenossenschaft, Verlag Gebr. Janecke, Hannover
Interavia, Luftfahrt-Raumfahrt-Elektronik, Interavia S.A. Genf
International Defense Review, Ineravia S.A., Genf, Schweiz
Internationale Wehrrevue, Interavia S.A., Genf, Schweiz (bis Mai 1988)
Journal of Ballistics, Douglas Documentation Systems, Philadelphia
Journal of Energetic Materials; Philadelphia, PA, USA
Journal of Industrial Explosives, Japan, Tokio
Journal of Propulsion and Power, AIAA, New York
Journal of Spacecraft and Rockets, AIAA, New York
Mémorial de l'Artillerie Française, l'Imprimerie Nationale, Paris
Mémorial des Poudres, l'Imprimerie Nationale, Paris (bis 1965)
Mining and Minerals Engineering (früher: Mine and Quarry Engineering) London
Mining Engineer, London
Mining, Engineering, New York
Missiles and Rockets, Washington (bis 1966)
Nobelhefte, Sprengtechnischer Dienst der Dynamit Nobel AG, Dortmund
Oxidation and Combustion Reviews, Elsevier Publ. Comp., Amsterdam (bis 1973)
Propellants, Explosives, Pyrotechnics, VCH-Verlagsges., Weinheim
Raumfahrtforschung, Deutsche Ges. f. Luft- und Raumfahrt, Ottobrunn

Sprengstoffe, Pyrotechnik, VEB Sprengstoffwerk Schönebeck/Elbe
Sprengtechnik, GEFAS (Gesellsch. f. angewandte Sprengtechnik), Effretikon, Schweiz
Tätigkeitsberichte der Bundesanstalt für Materialprüfung, BAM, Selbstverlag, Berlin
U. S. Bureau of Mines, PB-Reports, Washington
Wehrtechnik, Verlag Wehr und Wissen, Koblenz-Bonn
Wehrwissenschaftliche Rundschau, Verlag Mittler & Sohn, Frankfurt
Zeitschrift für das gesamte Schieß- und Sprengstoffwesen, Verlag August Schrimpff, München (bis 1944)

Tagungsberichte des Fraunhofer-Instituts für Chemische Technologie (bis Juli 1988: Institut für Treib- und Explosivstoffe), D-76327 Pfinztal-Berghausen; International Annual Conferences of ICT, 1970–1998 (29th):

1970 Wirkungsfaktoren explosionsfähiger Stoffe und deren Dämpfung
1971 Lebensdauer von Raketentreibsätzen, Treib- und Sprengladungen
1972 Probleme und Methoden der Umweltsimulation
1973 Sichere Technologie: Entstehung und Wirkung explosionsfähiger Systeme
1974 Verbrennungsvorgänge bei Treib- und Brennstoffen
1975 Pyrotechnik: Grundlagen, Technologie und Anwendung
1976 Sprengstoffe: Grundlagen, Technologie und Anwendung
1977 Analysenmethoden für Treib- und Explosivstoffe
1978 Moderne Technologie von Treib- und Explosivstoffen
1979 Verbrennungs- und Detonantionsvorgänge
1980 Meß- und Prüfmethoden für Treib- und Sprengstoffe
1981 Chemische und Mechanische Technologie von Treib- und Explosivstoffen
1982 Verwendung von Kunststoffen für Treib- und Explosivstoffe
1983 Gütesicherung und Überwachung von Treib- und Sprengmitteln
1984 Technologie von Treib- und Sprengmitteln
1985 Pyrotechnics: Basic Principles, Technology, Application
1986 Analysis of Propellants and Explosives: Chemical and Physical Methods
1987 Technology of Energetic Materials: Manufacturing and Processing, Valuation of Product Properties
1988 Combustion and Detonation Phenomena
1989 Environmental Testing in the 90's
1990 Technology of Polymer Compounds and Energetic Materials
1991 Combustion and Reaction Kinetics
1992 Waste Management of Energetic Materials and Polymers

1993 Energetic Materials – Insensitivity and Environmental Awareness
1994 Energetic Materials – Analysis, Characterization and Test Techniques
1995 Pyrotechnics: Basic Principles, Technology, Application
1996 Energetic Materials – Technology, Manufacturing and Processing
1997 Combustion and Detonation
1998 Energetic Materials – Production, Processing and Characterization
1999 Energetic Materials – Modeling of Phenomena, Experimental Characterization, Environmental Engineering
2000 Energetic Materials – Analysis, Diagnostics and Testing
2001 Energetic Materials – Ignition, Combustion and Detonation
2002 Energetic Materials – Synthesis, Production and Application
2003 Energetic Materials – Reactions of Propellants, Explosives and Pyrotechnics
2004 Energetic Materials – Structure and Properties
2005 Energetic Materials – Performance and Safety
2006 Energetic Materials – Insensitivity, Ageing, Monitoring
2007 Energetic Materials – Characterization and Performance of Advanced Systems
2008 Energetic Materials – Processing and Product Design

Weitere Internationale Tagungen (mit Proceedings)

Symposium (International) on Combustion, alle 2 Jahre, Veranstalter: The Combustion Institute, Pittsburg, 1928–1998 (27th)
Symposium (International) on Detonation, alle 4 Jahre, Veranstalter: Office of Naval Research u. a., 1951–1993 (10th)
Symposium on Chemical Problems Connected with the Stability of Explosives, alle 3 Jahre, Veranstalter: Sektionen för Detonik och Förbränning, Schweden, Dr. J. Hansson, 1967–1998 (11th)
International Symposium on Ballistics, alle 2 Jahre, Veranstalter: ADPA (American Defense Preparedness Association), 1974–1998 (11th); ab Okt. 1997 neuer Name: NDIA (National Defense Industrial Association)
Joint International Symposium on Compatibility of Plastics and other Materials with Explosives, Propellants and Ingredients, jährlich, Veranstalter: ADPA (American Defense Preparedness Association), 1974–1991; ab 1992 neuer Titel: International Symposium on Energetic Materials Technology, 1992–1995 (neuer Name ab Okt. 1997: NDIA)
Symposium on Explosives and Pyrotechnics, Veranstalter: Franklin Applied Physics, USA, alle 3 Jahre, 1954–1997 (16th)
International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in

the Process Industries, Veranstalter: European Federation of Chemical Engineering, alle 3 Jahre, 1974–1997 (9th)
International Pyrotechnics Seminar, Veranstalter: IPS (The International Pyrotechnics Society, USA), jährlich 1968–1998 (24th)
International Symposium on Analysis and Detection of Explosives, Veranstalter: wechselnd, alle 3 Jahre, 1983–1995 (5th)
Explosives Safety Seminar, Veranstalter: Department of Defense Explosives Safety Board, jährlich, ab 1974 alle 2 Jahre, erhältlich über National Technical Information Service (NTIS), US Department of Commerce), 1958–1995 (26th)
Airbag 2000–2006 (8th): International Symposium on Sophisticated Car Occupant Safety Systems, Veranstalter: Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT), Germany, alle 2 Jahre, 1992–2006 (8th)
International Seminar of New Trends in Research of Energetic Materials, Pardubice, Czech Republic
Intensive Munitions & Energetic Materials Technology Symposium IMGMTS
International Pyrotechnics Seminar, International Pyrotechnics Society

Schlagwortverzeichnis*)

A

A → black blasting powder 277
A → Brückenzünder A 59
A → composition A 66
A → Kennzeichnung 179
AA = antiaircraft
A-IX-2 = Hexogen/Aluminium/Wachs 73/23/4
abattage par chambre de mine 178
Abbrand **1**, 71, 120, 254, 326
Abbrandgeschwindigkeit **1**, 55
abbrandmoderierender Zusatz 49, 116, 137, 185
Abbrennen (Vernichten) 352
Abelsche Gleichung 37
Abel-Test 2
Abkerben, Abspalten → schonendes Sprengen 259
Abstand; Sicherheitsabstand 2
Abstechen (Delaborieren) 71
Abstichladung 3
Acardite → Akardite **10**, 11, 280, 313
acceptor charge = empfangende Patrone im → Übertragungsversuch
Accord Européen relativ au Transport International des Marchandises Dangereuses par Route → A. D. R. **4**, 142, 249
acétate dinitrate de glycérine 4
Acetonperoxid 3
acétylacétonate de fer 116
Acetyldinitroglycerin 4
Acetylensilber 270
acétylsalicylate de plomb 47
acétylure d'argent 270
acide picramique 238
acide picrique 239
acide styphnique 343
acide trinitrobenzoique 333
Acremit → Akremit 4, 12
active binders 8
A. D. C. test = Ardeer double cartidge (gap test)
ADN → Ammoniumdinitramid **17**, 313
ADNR **5**, 142
A. D. R. **4**, 142, 249
Aeroplex K = Feststoffraketentreibstoff auf Basis $KClO_4$ und Harz
Aeroplex N = Feststoffraketentreibstoff auf Basis NH_4ClO_4 und Harz
Aerosolbombe → GSX
Aerozin **5**, 171, 247
Äthyl-; Aethyl- → Ethyl
AGARD = Advisory Group for Aeronautical Research and Development 5
Airbag **5**, 142, 269
Airdox-Verfahren 33
air loaders = Blasgeräte zum Laden von → Andex
Akardit I **10**, 136, 280, 313
Akardit II **11**, 136, 280, 313
Akardit III **11**, 136, 280, 313
Akardite 10
Akremit **4**, 12
Aktive Binder → energetische Binder 118
Albanite 107
Alex 20 = → Composition B plus 20% Aluminium 66
Alginate 12
Alkylhydrazine 92
Allseitsbrenner 137
allumer 26
Almatrity = russischer Handelsname

*) Das Schlagwortverzeichnis gibt vielfach Direkt-Informationen ohne Textanführung; sie sind durch ein = Gleichheitszeichen gekennzeichnet. Viele von ihnen sind entnommen aus der ausgezeichneten Zusammenstellung von *W. Kegler*, Deck- und Handelsnamen aus der Sprengstoff- und Schießstoffliteratur. Dokumentation D 3/68 des → ISL.

für Chlorat- und Perchlorat-Sprengstoff
Alumatol = AN/TNT/Aluminium 77/20/3
Aluminiumpalmitat 207
Aluminiumpulver **12**, 23, 70, 153, 154, 159, 251, 254, 278, 318, 319, 325
Amatex 13
Amatole 13
amidosulfosaures Kalium → Hexogen, W-Verfahren 167
Amilol = Diamylphthalat 88
Aminoguanidinnitrat → Tetrazen 291
Ammodyte = pulverförmiger gewerblicher Sprengstoff (USA)
Ammoksil (Ammokcil; Ammonxyl) = russischer Name für die Mischung Ammoniumnitrat/Trinitroxylol/Aluminium 82/12/6
Ammonale 13
ammon gelatin dynamites → Ammonsalpetersprengstoffe 23
Ammongelatinen 14
Ammon-Gelite 2 und 3 **14**, 23, 52, 114, 129, 248, 257, 295
ammonia dynamites 14
ammoniinaya selitra = NH_4NO_3 (russisch)
Ammonit 3 **15**, 52, 129, 248, 257, 295
Ammonite 14
Ammoniumazid, ammonium azide 15
Ammoniumchlorid **16**, 251, 313, 366
Ammoniumdichromat, ammonium dichromate **17**, 131
Ammoniumdinitramid **17**, 313
ammoniumdinitramide **17**, 313
Ammoniumnitrat; ammonium nitrate → Ammonsalpeter 21
Ammoniumperchlorat **18**, 52, 251, 257, 295, 314, 352
Ammoniumpikrat 20
Ammonpek = AN/Teer 95/5 (russisch)
Ammonpulver **20**, 253
Ammonsalpeter **21**, 52, 67, 122, 127, 128, 135, 248, 250, 251, 253, 257, 278, 295, 313
Ammonsalpeter-Sprengstoffe 13, 14, 15, **23**, 128, 144, 145, 147
Amogel = Handelsname für einen halbgelatinösen Sprengstoff (USA)
Amolit = Handelsname für ANFO-Sprengstoff (Schweiz)
amorçage 26, 272, 375
amorce 24, 26
amorce à pont 59
amorce électrique à l'étincelle 272
AN = Ammoniumnitrat 21
analyse thermique différentielle 296
ANC-Sprengstoffe 12, 23, **24**, 233,
Andex 25
ANF-58 = Oktan als Flüssig-Treibstoff
ANFO → ANC-Sprengstoffe 24
Anfodet = Sprengkapselverstärker für Anfo (Ireco; USA)
ANG = Mischung von Nitroglycerin und Nitroglykol
angle shot mortar test 369
Anilite = Mischung von N_2O_4 und Butan (Frankreich)
Anlaufstrecke 25
Anobel = ANFO-Sprengstoff (England)
Anolit = ANFO-Sprengstoff (Norwegen)
Anopril = Ammonalsalpeterprills zum Selbermischen (ICI; England)
anti caking 141
antigrisouteux 366
antilueur = Additiv zur Mündungs-Feuerdämpfung (Frankreich)
Antimon = Komponente in Verzögerungssätzen
anwürden → Sprengkapseln; Zündschnüre 264, 275
Anzünden **26**, 377
Anzündhütchen **26**, 129, 181, 182, 271, 272, 377
Anzündlitze **26**, 129, 375
Anzündlitzenverbinder 27
Anzündmittel 377
Anzündschraube 377
Anzündverzug 378
AP = Armor plercing
APC = Ammoniumperchlorat 18
Apcogel = Handelsname für einen

halbgelatinösen Sprengstoff (USA)
Apcomite = Handelsname für einen pulverförmigen Sprengstoff (USA)
APU = auxiliary power unit (USA) = Treibmittel-betriebener Hilfsgenerator
Aquagel, Aquanite, Aquaram = Slurries (USA)
Aquariumtest 27
AR = aircraft rocket
Arbeitsvermögen **27**, 40, 50, 57, 273, 303
area ratio = propellant area ratio („Klemmung“) 182
Argol = Kaliumbitartrat als Zusatz gegen Mündungsfeuer
Argon-Blitz 33
Armor-plate-test 33
Armstrongverfahren 33
Arsol = Trimethylentrinitrosamin 68
artifice → Feuerwerk 138
Artillerie-Treibmittel 252
as-dimethylhydrazine 92
ASTM = American Society for Testing Materials 33
Astrolite 34, 140
AT = anti-tank
Athodyd = aerodynamic-thermodynamic (USA) = Luft-atmendes Raketen-Triebwerk
Atlas 6-B = Handelsname für einen Wettersprengstoff (USA)
Audibert-Rohr **34**, 371
Auflegerladung 34
Aurol **35**, 247
Ausbauchung → Bleiblockausbauchung 50
Ausschwitzen **35**, 346
Ausströmgeschwindigkeit **35**, 273, 312
Austinite etc. = Handelsnamen für gewerbliche Sprengstoffe (USA)
A-Wolle → Nitrocellulose 209
Azide 8, 15, **36**, 49, 68, 269, 328
azoture d’ammonium 15
azoture d’argent 269
azoture de plomb 49
A-Zünder 59

B

B → B-black powder = Sprengsalpeter 278
B → B-Stoff = deutscher Tarn-Name für Methanol
B → Composition B 66
B → poudre B = Nitrocellulose-Pulver 209
B4 = Mischung aus 60–70% Trinitroanisol und 30–40% Aluminium (Italien)
Bachmann-Verfahren 167
ballistic bomb **36**, 142
ballistic modifiers 49, 116, 137
ballistic mortar 40
Ballistische Bombe **36**, 142
Ballistischer Mörser 27, **40**
Ballistisches Pendel → ballistischer Mörser 40
Ballistit 217
ball powder 184
BAM **41**, 247, 255, 293
BAM-Prüfmethoden 247, 255, 293
banc d’essal 247
Baratole 41
Bariumchlorat; barium chlorate 41
Bariumnitrat; barium nitrate 41
Bariumperchlorat; barium perchlorate 43
Barlow bomb = Mischung von flüssigem Sauerstoff mit Brennstoff (USA)
Baronal = $Ba(NO_3)_2$/TNT/Al 50/35/15
barricade 260
Barythsalpeter → Bariumnitrat 43
Base-bleed = → Composite-Treibstoff-Element am Geschoßboden zur Sog-Vakuum-Auffüllung und damit Reichweiten-Vergrößerung
Baumwoll-Linters 212
Bazooka 43
B-black blasting powder 278
Befähigungsschein 45, 279
Belex = Handelsname für einen halbgelatinösen Sprengstoff (GB)
Bengalisches Feuer; bengal firework 43
Benzit 334

Bergbausprengstoffe → gewerbliche Sprengstoffe, Wettersprengstoffe, Sprengmittel; Kennzeichnung
Bergmann-Junk-Test **43**, 281
Bernoullische Gleichung 138
Berthelotsches Produkt 126
Bertholletsches Knallsilber 270
Berufsgenossenschaft 186, 390
Besatz 44
Beschuß-Sicherheit 45
Beutemunition 71
Bezug von Explosivstoffen 45
BF-122; –151 = Polysulfidbinder-Treibstoff (Thiokol)
BGQ; GBY; BIC; BID; BIE; BIL; BIM; BIP; BLB; BLC, = verschiedene zweibasige Treibstoffe (USA)
Bickford-Zündschnüre → Schwarzpulveranzündschnur 264
B. I. C.T. = Bundesinstitut für Chemisch-Technische Untersuchungen 46
bilan d'oxygène 251
Bildungsenergie; Bildungsenthalpie 46
Bildungswärme → Bildungsenergie 46
Binitrotoluol → Dinitrotoluol 105
Bis-cyclopentadienyl-Eisen 137
bi-trinitroethylnitramine 111
bi-trinitroethylurea; -urée 110
BKW = Becker-Kistiakowsky-Wilson-Zustandsgleichung → Zustandsgleichung 278
black powder 262
Blättchenpulver → Schießpulver 252
Blasgeräte – Sprengstoffladegeräte 280
blast area = Sprenggelände
blast effect 113
Blastex = → Emulsions-Slurry (IRECO; USA)
blasting agents 48
blasting cap 275
blasting galvanometer 380
blasting gelatin 275
blasting machines 376
blasting powder 277
blasting soluble nitrocotton 210
blasting switch 377
blastmeter 48
Blechkästchenmethode 293
Bleiacetylsalicylat **49**, 314
Bleiazid 31, 36, **47**, 129, 131, 139, 174, 248, 257, 275, 314
Bleiblockausbauchung 50
Bleiethylhexoat **53**, 314
blei- und bariumfreie Anzündsätze → Sintox-Azündsätze 53, 272
Bleinitrat **53**, 314
Bleistyphnat, Bleitrinitroresorcinat, Bleitrizinat 31, **54**, 129, 139, 174, 248, 257, 271, 275, 314, 343
BN → Bariumnitrat 41
Böllerpulver 55
Bohrpatrone = Pioniermunition (100 g TNT-Preßkörper)
Boloron = Mischung Dinitrochlor-benzol-HNO_3
Bombe, ballistische 36
bombe Crawford 67
bombe pour essais balistiques 36
Bonit → Composition B 66
Boom-powder = pyrotechnischer Satz aus NC, Fe_2O_3, Ti und Zr zur Bildung von Leuchtpartikeln
Booster **55**, 354
Booster sensitivity test = US-Methode zur Bestimmung der Zündempfindlichkeit mittels → Tetryl-Körper und Variierung der Schichtdicke einer Wachszwischenlage
bootleg = Bohrlochpfeife
Boronite A, B, C = Mischungen aus AN, TNT und Bor
Borotorpex = gießbare Mischung aus Hexogen, TNT und Bor, z. B. 46/44/10 (USA)
Boudouard-Gleichgewicht 299, 324
boullies 278
bourrage 44
bourrage à l'eau 358
bourroir = Ladestock
boute feu = Sprengmeister
BP = russische Kurzbezeichnung für Hohlladungen
BPZ = russische Bezeichnung für Hohlladungen mit Brandwirkung
branchement en parallèle 233
break test 368
Brenngeschwindigkeit 55

Brennit = Handelsname für einen pulverförmigen Sprengstoff (Norwegen)
Brennkammer 55
Brennkammerdruck 35
Brennschluß 56
Brennschlußgeschwindigkeit 56
Brennstoff 56
Brennverhalten von Wettersprengstoffen 34, 71, 366
bridgewire detonator 59
Brisanz; brisance 27, **57**, 113, 186
Brisanzwert nach *Kast* 58
BRL-1 = Festtreibstoff, auf NC und Polyurethan basierend
Brückenzünder; bridgewire detonator **59**, 282
brûlage 351
B-Stoff = Methanol (deutsch)
BSX = 1,7-Diacetoxy-2,4,6-Tetramethylen-2,4,6-Trinitramin
BTM = gießbare Mischung aus Tetryl. TNT und Aluminium 55/25/20
BTNENA = Bis-trinitroethylnitramin (USA)
BTNEU = Bis-trinitroethylharnstoff (USA)
BTT; BTTN = Butantrioltrinitrat 60
bulk mix = unpatronierter Sprengstoff, z. B. → Andex
Bulk powder = poröses NC-Jagdpulver (USA)
bulldoze = Knäpperladung
Bullet Hit Squib (USA) = Filmeffektzünder 139
Bundesanstalt für mechanische und chemische Materialprüfung → BAM 41
BuNENA = N-Butyl-nitratoethyl-nitramin ■■
burning chamber 55
burning rate 1, 67
Butantrioltrinitrat **60**, 131, 135, 140, 253
Butarez = Polybutadien
N-Butyl-nitratoethyl-nitramin ■■
BWC = board wood cellulose (UK)
BZ = russische Bezeichnung für panzerbrechend mit Brand-Wirkung

C

C → composition C, C-2 usw. 66
CA. = Nitrocellulose 12% N für Lacke;
CA_2= Dynamit-Collodiumwolle 12,5% N (Frankreich)
Calciumcarbonat 314
Calciumnitrat **61**, 314
Calciumstearat (Hydrophobierzusatz) 314
calculation of explosives and gun powder 296
cambric = Stoppine
Campher; camphor; camphre **61**, 135, 230, 280, 314
Candelilla-Wachs 135
cannon = Mörser → (Wettersprengstoffe) 365
capacitator (blasting) machines 376
caps, detonating 275
cap sensitive 48
Caput mortuum 62
Carbagel; Carbamal = Handelsnamen für einen Sprengschlamm (USA)
Carbamite = Centralit I (USA) 63
Carbazol = Tetranitrocarbazol 287
Carben 62
Carbonit → Wetter-Carbonit 360
carboxy-terminated polybutadiene 352
Cardox **62**, 142
Carrifrax = Handelsname für einen Wettersprengstoff (UK)
Carrwick = schlagwettersicherer Millisekunden-Zünder (ICI; England)
carry over effect = Erhöhung von Detonations-Druck und -Geschwindigkeit durch Überlagerung zweier Wellenfronten
cartouche 234
cartridge 234
cartridge density 186, 237
case bonding 62, 137
casting of explosives 147
casting of propellants 148
Catergol = Raketentreibstoff durch katalytischen Zerfall (z. B. Hydrazin) (USA)
cavitiy effect 169

CBI = „clean burning igniter“ (USA)
CBS = plastischer Sprengstoff aus 84% Hexogen und 16% Butylstearat + 1,5 Tl. Stabilisator
CBS-128 K; – 162 A = → Verbundtreibsätze (USA)
C. C. = „collodion cotton“ = Nitrocellulose 11–12% N (GB)
C. C.-propellants = „Cyclonit cannon“ = Hexogen-enthaltende Pulver (USA)
CDB-Treibstoffe = „double base“ – Verbundtreibstoff-Kombinationen 63
CDT (80) = gießbarer double base – Raketentreibstoff (USA)
CE = Tetryl 292
Cellamite = Handelsname für einen Ammoniumnitrat-Sprengstoff (Frankreich)
cellular explosive = Schaum-Sprengstoff mit geschlossenen Poren (USA)
Celluloidwolle 210
α-Cellulose-Gehalt 212
Cellulosenitrat, cellulose nitrate → Nitrocellulose 209
Centralit I **63**, 135, 314
Centralit II **64**, 135, 314
Centralit III **64**, 135, 314
Centralite 230, 252, 280
Centralite TA = Handelsname für einen Ammoniumnitrat-Sprengstoff (Belgien)
CH_4 258
Chakatsuyaku = TNT (Japan)
chaleur de combustion 351
chaleur de formation 46
chaleur d’explosion 133
chaleur partielle d’explosion 135
chambre de combustion 55
chambre de mine, abattage par 178
channel effect 178
chantier de tir = Spreng-Gelände
Chapman-Jouguet-Punkt 77
Charbonniersche Gleichung 1
Charbrit = Handelsname für einen Wettersprengstoff der Klasse III (Belgien)
charcoal → Schwarzpulver 262
charge creuse 168
charges d’amorçage 375
charges génératrices de gaz 142
charge superficielle 34
Chauyaku = RDX (Japan)
Cheddite = Handelsname für einen → Chloratsprengstoff (Schweiz)
chemische Zünder 123
Chilesalpeter → Natriumnitrat 207
chlorate de barium 41
chlorate de potassium 176
chlorate de sodium 207
Chloratit 65
Chloratita = Chloratsprengstoff (spanisch)
Chloratsprengstoffe; chlorate explosives 65
Chlordinitrobenzol = Di-nitrochlorbenzol 96
Chlorhydrindinitrat 97
Chlortrifluorid 141
chlorure de picryle 336
CHNO-Explosives = Explosivstoffe nur aus diesen Elementen (USA)
Chornyi porokh = Schwarzpulver (russisch) 262
cigarette burning 281
circuit en série 233
circuit parallèle 233
circuit tester 375
CJ-Punkt 76
CL-20 = Hexanitrohexaazaisowurtzitan **164**, 315
Class-A-, class B-, class C-explosives = US-Gefahren-Klassifizierung
A: höchste Gefahrenklasse; z. B. → Nitroglycerin; → Initialexplosivstoffe; → TNT; → Composition B; → PBX; → Octol
B: mittlere Gefahrenklasse; z. B. Pulver, Pyrotechnika
C: Fabrikate bzw. Mischungen mit geringen Mengen bzw. Prozenten von A und/oder B
clearing blasts = Belebungs-Sprengungen in Öl- und Gas-Feldern
closed vessel 36
coal dust 184
Coalite = Handelsname für einen Wettersprengstoff (USA)

coating 185
coefficient de transmission de la détonation 83
coefficinet d'utilisation pratique 50
Collier C = Handelsname für einen Wettersprengstoff (USA)
collodion → Collodiumwolle = Nitrocellulose 209
column charge = gestreckte Ladung
comburant 250
combustible 56
combustible cartridge cases 350
combustion 351
combustion en cigarette 281
combustion érosive 120
combustion heat 351
combustion-modifying additive 49, 116, 137, 185
combustion of explosives 352
commande de tir 377
compatibility testing 350
composite propellants 18, 351
composition A 66
composition B 66
composition C 66
compositions I; II 67
compositions lumineuses 43, 193
compositions pyrotechniques 43, 138
compositions retardatrices 354
confinement 115
controlled blasting; contour blasting- = schonendes Sprengen 259
conventional explosives performance data 296
cook off = vorzeitige Entflammung- → hülsenlose Munition 171
copperchromite 185
cordeau Blickford = bleiummantelte Sprengschnur mit TNT
cordeau détonant 279
corde d'allumage 26
Cordite = double base Pulver (GB) 67
Corpent = PETN 226
Cortex = Sprengschnur 279
Coruscatives 184
coulée de charges des projectiles 147
coulée de propergol 148
coyote blasting 178
CP 1 BFP = nitrocellulose 13% N
CP 2 = nitrocellulose 11,7–12,2% N
CP SD = nitrocellulose 11,6% N (Frankreich)
crater method 29
Crawford-Bombe 67
crésylite = Mischung von Trinitrokresol und Pikrinsäure
crimping = anwürgen
critical diameter 184
cross section ratio 246
CR-Propellants = Hexogen-haltige Pulver (USA)
crusher 57
C. T. D. = „coefficient de selfexitation"
C. T. I.: jetzt → BICT 46
CTPB = caroxy-terminated polybutadiene (USA)
C. T. R. heißt: die (ehemalige) Chemisch-Technische Reichsanstalt
cumulative priming 185
CUP; c. u. p. = coefficient d'utilisation pratique (Frankreich) 50
Cupren 62
cushion blasting = Hohlraumsprengen
curing = aushärten
cut off = abschlagen einer Sprengladung durch benachbarte Ladung
cutting charge 258
C. W. = Nitrocellulose 10–12% N (deutsch)
Cyanurtriazid **68**, 131, 248
Cyclofive = RDX/Fivonite 53/47 (→ Seite 285) (USA)
Cyclonite = RDX = Hexogen 166
Cyclopentadienyl-Eisen 137
Cyclops = hoch-energetischer Raketentreibstoff
Cyclotetramethylentetranitramin = HMX = Oktogen 231
Cyclotol = RDX-TNT (USA) 68
Cyclotrimethylentrinitramin = RDX = Hexogen 166
Cyclotrimethylentrinitrosamin 69

D

D-1; D-2 = Phlegmatisiermittel für Sprengstoff = 84% Paraffinwachs, 14% Nitrocellulose und 2% Lecithin (USA)

DADNE = 1,1-Diamino-2.2-dinitroethylen = FOX-7 ■■
DADNPh = Diazodinitrophenol (USA) 89
Daisy cutter (Aerosolbombe) → GSX ■■
Dampfphasennitrierung 214, 225
danger d'explosion en masse 197
DAP = Diamylphthalat (USA) 88
DATNB; DATE = Diaminotrinitrobenzol (USA)
Dautriche-Methode 69
DBP = Dibutylphthalat (USA)
DBS = Dibutylsebacat (USA)
DBT = Dibutyltartrat (USA)
DBT = Mischung Dinitrobenzol/TNT (russisch)
DBX = „depth bomb explosive" (USA) 70
DCDA = Dicyandiamid (USA)
DD = Mischung Pikrinsäure/Dinitrophenol (Frankreich)
DDNP = Diazodinitrophenol (USA) 89
Deflagration; deflagration 70
deflagration point 353
DEGN = Diglykoldinitrat 90
Dehnungsmeßstreifen 259
Dekadenzähler (Chronograph) 82
Delaborieren 71
delay compositions 354
delay fuse 355
densité; density; densité de chargement 186
Dentex = Mischung RDX/DNT/Aluminium 48/34/18 (GB)
denudation de la charge = → cutt off
DEP = diethylphthalate; Diethylphthalat (USA)
depth charge = Wasserbombe
DER 332 = Epoxa-Komponente (USA)
destressing blasting = → Entspannungssprengen 119
destruction of explosive matters 352
Detacord = Kleindurchmesser-Sprengschnur aus Nitropenta und Kunststoff
Detaflex = Folien-Sprengstoff aus Nitropenta und Binder
Detasheet = Sprengstoff-Platte aus Nitropenta und Binder (USA)
détonateur 275
détonateur à fil explosé = „mild detonating fuse" = nichtsprengkräftige detonierende Zündschnur
détonateur instantané 277
détonateur pour tir sous l'eau 350
detonating fuse 279
Detonation; détonation; hydrodynamische Theorie der Detonation 57, **72**, 113
détonation par influence 82
detonation rate 82
détonations dans l'eau 348
Detonationsdruck 75
Detonation, selektive 81
Detonation, stabile 78
Detonation, sympathetic 82
Detonationsgeschwindigkeit 27, 32, 57, 69, 77, **82**
Detonationstemperatur 133, 302
Detonationsübertragung 82
Detonationswelle 78
Detonatoren; detonators = Sprengkapseln 275
detonierende Zündschnur, Sprengschnur 279
detoninooyuschii shnoor = Sprengschnur (russisch)
Deutsch-Französisches Forschungsinstitut St. Louis I. S. L. 174
Dextrin 50
diamètre critique 184
1,1-Diamino-2,2-dinitroethylen (DADNE, FOX-7) ■■
Diamylphthalat **88**, 135, 280, 314
Diazodinitrophenol **89**, 128, 131, 139, 174, 238
Diazol = Diazodinitrophenol 89
DIBA = Diisobutyladipat
Dibutylphthalat; dibutylphthalate **90**, 135, 280, 314
Diethanolamintrinitrat 131
Diethyldiphenylharnstoff = Centralit I 63
Diethylenglykoldinitrat = Diglykoldinitrat 90
dichromate d'ammonium 17
Dichte **90**, 186
Dicyandiamid 150

Dieselöl = ANC-Sprengstoffe 21
diethyldiphenylurea; diéthyldiphénylurée = Centralit I 63
Differentialthermoanalyse 296
Diglycerintetranitrat → Tetranitrodiglycerin 288
diglycerol tetranitrate 288
Diglykoldinitrat 31, **90**, 136, 178, 241, 314
Diglykolpulver 129, 178, 241
diisocyanate de toluylène 325
diisocyanate d'hexaméthylène 154
diisocyanate d'isophorone 175
Dimazin = UDMH = Dimethylhydrazin 92
Dimethyldiphenylharnstoff; dimethyldiphenylurea; diméthyldiphénylurée = Centralit II 63
Dimethylhydrazin; diméthylhydrazine 5, **92**, 141, 315
Dina 107
Dinal = Dinitronaphthalin 101
Dingu = Dinitroglycoluril 93
dinitrate de diéthylèneglycol 90
dinitrate de dioxyéthyldinitroxamide 98
dinitrate de dioxyéthylnitramine 107
dinitrate de formylglycérine 99
dinitrate de glycérine 100
dinitrate de glycérine-dinitrophényléther 103
dinitrate de glycérinenitrolactate 101
dinitrate de glycol 218
dinitrate de méthylnitropropane-diol = dinitrate de nitrométhylpropanediol 225
dinitrate de propylèneglycol 244
dinitrate d'éthanolamine 203
dinitrate d'éthylènediamine 121
dinitrate d'éthylnitropropandiol 214
dinitrate de triéthylèneglycol 329
dinitrate de triméthylèneglycol 331
dinitrate de trinitrophénylglycérineéther 340
dinitrate d'hexamethylenetetramine 155
dinitrate d'isosorbitol 175
Dinitroacetin 4
Dinitroaminophenol = Pikraminsäure 89, 131, **238**
Dinitrobenzol 52, **95**, 248, 251, 257
Dinitrobenzofuroxan 94
Dinitrochlorbenzol, dinitrochlorobenzène **96**, 157, 159, 333, 336, 339
Dinitrochlorhydrin 97
Dinitrodiglykol → Diglykoldinitrat 90
Dinitro-dinitrosobenzol → 4,6-Dinitrobenzofuroxan 94
Dinitrodimethyloxamid **98**, 131
Dinitrodioxyethyloxamiddinitrat 98, 131
Dinitrodiphenylamin 99
Dinitroethanoloxamiddinitrat 98, 131
Dinitroethylendiamin 122
Dinitroethylenharnstoff 122
Dinitroformin 99
Dinitroglycerin 100
Dinitroglycerinnitrolactat 101
Dinitroglykol → Nitroglykol 218
Dinitrokresol 102
Dinitronaphthalin; dinitronaphthalène 101
Dinitro-o-kresol; dinitroorthocresol 102
Dinitrophenoxyethylnitrat 103
Dinitrophenylglycerinetherdinitrat 103
Dinitrophenylglykolethernitrat 103
Dinitrophenylhydrazin 104
Dinitrosobenzol 105
Dinitrotoluol 105
Dinitryl 103
Dinol → Diazodinitrophenol 89
Dioxyethylnitramindinitrat 107
DIPAM = Diaminohexanitrodiphenyl
DIPEHN, Dipenta; Dipentaerythrithexanitrat; dipentaerythrolhexanitrate; Dipentrit **108**, 131
Diphenylamin 108, 136, 280, 315
Diphenylharnstoff; diphenylurea; diphenylurée = Akardit I 10
Diphenylurethan **109**, 136, 280, 315
Dipicrylamin 159
Dipicrylharnstoff; dipicrylurea; dipicrylurée 157
Dipicrylsulfid 162
Dipicrylsulfon 162
dipikrinsaures Glycerinnitrat 160
dismantling of ammunition 71
ditching dynaminte 110
Dithekite 110
Di-(trinitroethyl)-Harnstoff; di-trinitroéthylurée 110

Di-(trinitroethyl)-nitramin; di-trinitroéthylnitramine 111
Divers'sche Lösung = hochkonzentrierte Lösung von AN und NH_3 in Wasser; als → Monergol vorgeschlagen
DMEDNA = Dimethylethylendinitramin (USA)
DMNA = Dimethyldinitramin (USA)
DMSO = Dimethylsulfoxid
DNAP = Dinitrodiazophenol (USA)
DNB = Dinitrobenzol 95
DNBA = Dinitrobenzaldehyd (USA)
DNCB = Dinitrochlorbenzol (USA) 96
DNDMOxm = Dinitrodimethyloxamid (USA)
DNDMSA = Dinitrodimethylsulfamid (USA)
DNDPhA = Dinitrophenylamin (USA) 99
DNEtB = Dinitroethylbenzol (USA)
DNEU = Dinitroethylharnstoff (USA)
DNF = Dinitrofuran (USA)
DNG = Dinitroglycerin (USA) 100
DNMA = Dinitromethylanilin (USA)
D. N. N. = Dinitronaphthalin
DNPA = 2,2-Dinitropropylacrylat (USA)
DNPh = Dinitrophenol (USA)
DNPT = Dinitrosopentamethylentetramin (USA)
DNR = Dinitroresorcin (USA)
DNT = Dinitrotoluol 105
DNX = Dinitroxylol (USA)
Donarit 1 und 4 112
donor charge = Geber-Patrone im → Übertragungsversuch
DOP = Dioctylphthalat (USA) 136
DOS = Dioctylsebacat (USA)
double base propellants **113**, 217, 241, 252
douilles combustibles 350
DPA = Diphenylamin (USA)
DPEHN = Dipentaerythrithexanitrat 108
DPhA = Diphenylamin 108
DPP = Diphenylphthalat (USA)
Drehgriffmaschine → Zündmaschinen 376
dreibasiges Pulver 253
Drop-Test 113
Druckexponent 1
Druckkochen 210
Druckluft-Sprengverfahren 33, 142
Druck, spezifischer → spezifische Energie 273, 303
Drucksprung → hydrodynamische Theorie der Detonation 72
Druckstoßwirkung; Druckwelle 113
Druckwellensprengstoffe → FAE
DTA = Differentialthermoanalyse 296
Düse 113
Dunnit = Ammoniumpikrat (USA) 20
Duobel = Handelsname für einen Wettersprengstoff (USA)
dutch test → Holland-Test 170
Duxita = Hexogen phlegmatisiert mit 3% castor oil (Italien)
Dynacord = Handelsname für eine Sprengschnur 113
Dynafrax; Dynagex = Handelsname für Wettersprengstoffe (GB)
Dynagex = Wettersprengstoff (ICI; England)
Dynalite = Handelsname für eine halbgelatinösen Sprengstoff (Frankreich)
Dynamex = Handelsname für einen gelatinösen Sprengstoff (Schweden)
dynamic vivacity 37
Dynamit-Collodiumwolle 210
Dynamite; dynamites 114
Dynamite gélatiné couche = Handelsname für einen Wettersprengstoff (Frankreich)
dynamite gomme 114
Dynamite LVD = Sprengstoff mit niedriger Detonationsgeschwindigkeit; Zusammensetzung:
17,5% Hexogen
67,8% TNT
8,6% Pentaerythrittrinitrat
4,1% Binder 68/32 Polybuten/Dioctylsebacat
2,0% Acetylcellulose
Dynamite MVO = Sprengstoff mit mittlerer Geschwindigkeit; Zusammensetzung:
75% Hexogen

15% TNT
5% Stärke
4% Öl
1% Vistanex Ölgel (USA)
Dynamite No. 2 = Handelsname für einen halbgelatinösen Sprengstoff
Dynamon = Handelsname für einen Nitroglycerin-freien pulverförmigen Sprengstoff
Dynaplat® 114
Dynashoc® = nicht-elektrisches Zündsystem → Nonel 229
Dynatronic®-Zündsystem 114

E

E → E-Prozeß (Hexogen-Synthese) 167
E → E-Wolle – esterlösliche Nitrocellulose 211
E → Kennzeichnung 179
EBW = Exploding Bridge Wire Detonator = elektrischer Zünder mit Zerknallbrückendraht (USA)
EC = Platzpatronen-Pulver Echolote 115
écran → Schutzwall 264
Ecrasit; Ekrasit = Pikrinsäure 239
EDA = Ethylendiamin (USA)
EDD = Ethylendiamindinitrat, auch; EDADN (USA) 121
EDNA = Ethylendinitramin (USA) 122
Ednafive = EDNA/Fivonite 50/50 (Fivonite → S. 285)
Ednatol 115; Ednatoal = Ednatol + 20% Aluminium (USA)
Effekt, Neumann = Hohlladungseffekt 168
effet de souffle 113
EF poudre = Platzpatronen-Pulver (Frankreich)
EFI = Exploding Foil Initiator (USA)
EGDN = Nitroglykol 218
einbasige Pulver 201, 252
eingeschlauchte Ladung 371
Einschluß 115
Eisen-Acetylacetonat 116
Eisenoxidrot 62
Ekrasit = Pikrinsäure 239
EL-506 = Plattensprengstoff („Detasheet“) (USA)
Elektrische Zünder → Brückenzünder 59
elektronische Zünder → Dynatronic®-Zündsystem 114
E. L. F. heißt extra low freezing
EMMET = Ethyltrimethylolmethantrinitrat (USA)
Empfindlichkeit **116**, 247, 255, 295
Emulsionsförderung 117
emulsion slurries; Emulsions-Sprengstoffe 117
end-burning velocity 56
Endkontakt → Zündmaschinen 376
energetic polymers → energetische Binder 118
Energetische Binder (energetic binders) **118**, 148, 170, 195, 241
Energiedichte 303
Energieniveau 303
Energie, spezifische → spezifische E. 273, 303
Entspannungssprengungen 119
Entzündungstemperatur 353
environmental testing 350
Eprouvette, éprouveur 119
eqs = equal sheathed explosives 370
equation of state = Zustandsgleichung 378
Erlaubnis → Sprengstoffgesetzgebung 279
erosive burning; erosiver Abbrand 120
Erschütterungsmeßgeräte → Schwingungsmeßgeräte 265
Erstarrungspunkt 346
Erythrittetranitrat 213
essai au bloc de plomb 50
Essigsäureanhydrid 167
Estane = Polyester aus Adipinsäure, 1,4 Butandiol und Diphenylmethan-diisocyanat (USA)
EST.ESW → Kennzeichnung 180
EtDP = Ethyl-4,4-Dinitropentoat
Ethanolamindinitrat 203
Ethrioltrinitrat **120**, 315
Ethyl-Centralit = Centralit I 63
Ethyldiphenylharnstoff 11
ethyldiphenylurea = Akardit III 11
Ethylendiamindinitrat 121
Ethylendinitramin 122
Ethylenglykoldinitrat 218

Ethylenharnstoff 122
Ethylglykoldinitrat
→ Propylenglykoldinitrat 244
éthylhexoate de plomb 53
Ethylnitrat 123
Ethylphenylurethan 123
ethylphenylurethane;
ethylphényluréthane 123
ethylpicrate 339
Ethylpikrat
= Trinitrophenetol 339
Ethyltetryl 124
E-Verfahren → Hexogen 167
EVO → Gefahrgut-Verordnungen 142
E-Wolle → Nitrocellulose 211
EXEL = Detonatoren (ICI; England)
exploseur 376
explosif antigrisouteux 365
explosif à oxygène liquide 140
explosif au nitrate d'ammonium 23
explosif chloraté 65
explosif chloruré 366
explosif d'amorçage 174
explosif de mine 43, 147
explosif en vrac = unpatronierter Sprengstoff
explosif gainé = ummantelter Wettersprengstoff
explosif – liant plastique 185
explosif liquide 139
explosif nitraté 23
explosif perchloraté 236
explosif pour usage industriel 147
explosif primaire 174
explosif pulvérulent 246
explosifs allégés = Sprengstoffe niedriger Dichte
explosifs d'amorcage = → Initialsprengstoffe
explosifs secondaires = Sekundärladung in Sprengkapseln
explosif S. G. P. 366
explosion heat 133
explosionsfähiger Stoff 125
explosionsgefährlicher Stoff 130
Explosionsprodukte; CO_2, CO, H_2O usw. 296
Explosionstemeratur; explosion temperature **133**, 302
Explosionswärme;
partielle Explosionswärme 134, 136, 301
Explosion tardive (long feu; hangfire) = Spätzündung
Explosive casting 148
explosive „D" 20
explosive forming 198
explosive loading factor = spezifischer Sprengstoffverbrauch
explosives equal sheathed 370
extra dynamites = Ammonsalpetersprengstoffe 23
Extra Gelatin Primer = Ngl.-Gelatine als Zündverstärker (IRECO; USA)
Extragummidynamit = Handelsname für einen gelatinösen Sprengstoff (Norwegen)
extra low freezing 144
extrudeuse à vis 258
exudation = Ausschwitzen 35

F

F; FF; FFF; FFFF;
→ Schwarzpulver, Kornfeinheiten 263
F 8 = Mischung aus Aluminium und Bariumnitrat (USA)
F(Φ) = Hochleistungs-Sprengstoff (russisch)
FA = Furfurylalcohol (USA)
FA/AN = Mischung aus Furfurylalkohol, Anilin und Hydrazin 46/47/7
face burning 281
FAE → Fuel Air Explosives
Fallhammer 125, **136**, 255
farine de guar 152
Favier-Sprengstoffe = Ammoniumnitrat-Sprengstoffe (Belgien; Frankreich)
Federzugmaschine → Zündmaschinen 376
fendage preliminaire = presplitting- = vorspalten
Ferrocen; ferrocène **137**, 315
fertilizer grade ammonium nitrate; FGAN, → Ammonsalpeter 21
Feststoffraketen **137**, 247
Feuerwerk; Feuerwerkssätze 138
Feuerwerkspulver
→ Schwarzpulver 262

Feuerwerkszündschnüre 129, 139
FGAN = ferilizer grade ammonium nitrate
Filmeffektzünder 139
fin de combustion 55
fire damp = Schlagwetter 258
Fireline = schlauch-patronierter Slurry zur Waldbrandbekämpfung
firework 138
Firstensprengen 259
Fivolite, Fivonite 285
Flächenstrahl 258
Flachladung → Hohlladungen 168
flambeau = flare = Fackel
flash over = detonation par influence = Übertragung 82
flash point = Flammpunkt
flegmatiser 237
Flogel = Handelsname für einen slurry (USA)
FLOX = Mischung aus flüssigem Sauerstoff und flüssigem Fluor
flüssige Luft 140
flüssiger Sauerstoff 141
flüssiger Wasserstoff 141
flüssiges Ammoniak 141
flüssiges Fluor 141
flüssiges $N_2O_4$140, 141
flüssige Sprengstoffe 139
Flüssig-Luft-Sprengstoffe 140
Flüssig-Treibstoff-Raketen 141
FM = Titantetrachlorid
FNR = Tetrafluorethylen-trifluornitrosomethan Copolymer
Folien aus Sprengstoff 185
force 27
Formen → Metallbearbeitung durch Sprengstoffe 198
Formfunktion → Abbrand 1
Formyldinitroglycerin 99
formylglycerol dinitrate 99
FOX-7 = 1,1-Diamino-2,2-dimitroethylen (DADNE) ■■
FOX-12 = N-Guanylharnstoffdinitramid (GUDN) ■■
FP 02 = TNT 344
FP 60/40 = TNT/AN 60/40
Fräsen → Delaborieren 71
fragmention test (USA) = Splittertest
Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie 173
free flowing – Sprengstoffe 141, 246
freie Radikale 141
friction sensibility 247
Frühzündung = premature firing fuel 56
Füllpulver 02 = TNT = Trinitrotoluol 344
fugasnost = Bleiblock-Test (russisch)
fulmicotone = Nitrocellulose (Italien)
fulminate d'argent 270
fulminate de mercure 182
fulminates → Initialsprengstoffe 174
fumées de tir; fumes 260
fume volume 230
functioning time = Anzündverzugszeit
Fundmunition 71
fuse head = Zündschraube 377
fusée retardatrice 355
FV = Fivonite = Tetramethylolcyclopentanontetranitrat (USA) 285
FV/EDNA = Ednafive = Mischung aus Fivonite und Ethylendinitramin
FV/PENT = Pentafive = Mischung aus Fivonite und Hexogen (USA)

G

galerie d'essai 367
galette 246
galvanomètre 375
Gamsit = Handelsname für einen gelatinösen Sprengstoff (Schweiz)
GAP = Glycidylazidpolymer 148
gap test 85
Gasdruck 142
Gas-erzeugende Ladungen 142
Gasgenerator → Airbag 5
gas jet velocity = Ausströmgeschwindigkeit 34
gaslose Verzögerungssätze 354
gaslos reagierende Stoffpaare 184
gas pressure 142
Gasschlagwirkung 12, 349
Gasvolumen → Normalvolumen 230, 302
Gas Well Gelatin and Gas Well Primer = Nitroglycerin-Gelatinen für Stimulierungs-Sprengungen

GC = gun cotton = Nitrocellulose mit ca. 13% N (GB)
GcTNB = Glycoltrinitrobutyrat (USA)
GDN = glycoldinitrat (USA) 218
Gefahrgruppen → Lagerung von Explosivstoffen 186
Gefahrgutverordnungen 142
Gefrieren von Nitroglycerinsprengstoffen 144
Gegenlaufzündung 186
Gelamite = Handelsname für einen halbgelatinösen Sprengstoff (USA)
Gelamon 144
Gelaprime (Ireco; USA)
Gelatinatoren 280
gelatin dynamites; Gelatine-Dynamite
Gélatinée No. 1 = Handelsname für gelatinösen Sprengstoff (Frankreich)
gelatin explosive; gelatinöse Sprengstoffe; gelatins 145
gelatinizer 280
gelatinous permitted explosive → Wettersprengstoff 365
Gel Coalite = Handelsname für einen Wettersprengstoff (USA)
Gelex; Handelsname einer Halbgelatine (USA)
gelignite 145
Gélignite D = Handelsname für eine gelatinösen Sprengstoff (Frankreich)
Gelobel = Handelsname für einen Wettersprengstoff (USA)
Gelodyn = Handelsname für einen halbgelatinösen Sprengstoff (USA)
Generator-Zündmaschine 376
Geocord 145
Geoflex = Sprengschnur für die Seismik (ICI; England)
Geofranex = Handelsname für einen gelatinösen Sprengstoff (Frankreich)
Geolit 145
Geomit = Handelsname für einen pulverförmigen Sprengstoff (Norwegen)
Geopak = unpatronierter Sprengstoff für seismische Zwecke (ICI; England und USA)
Geophex = Handelsname für einen seismischen Spezialsprengstoff (GB)
Geoseis System = Erzeugung einer linearen Schwingung mittels Sprengschnur
Geosit = Handelsname für einen seismischen Spezialsprengstoff (BRD) 146
gepreßte Sprengladungen 243
Geschützpulver → Schießpulver 252
Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe 130, 279
Gesteinssprengstoffe 147
gestreckte Ladung = column charge
Gewehrpulver → Schießpulver 252
gewerbliche Sprengstoffe 12, 14, 15, 23, 24, 25, 43, 45, 65, 110, 112, 114, 144, 145, 146, **147**, 152, 229, 275, 283, 365
Gheksogen = Hexogen (russisch) 166
Giant Gelatin = Handelsname für einen gelatinösen Sprengstoff (USA)
gießbare Sprengstoffgemische 13, 41, 66, 68, 70, 115, **147**, 153, 254, 293, 325, 344, 347
Gießen von Sprengladungen 147
Gießen von Treibsätzen 148
Gleichgewichtskonstanten 324
Globularpulver → Kugelpulver 184
Glühbrücke → Brückenzünder 59
GLTN = Dinitroglycerinnitrolactat 101
Glycerin; technische Reinheitsforderungen 217
Glycerin-acetat-dinitrat; Acetyldinitroglycerin 4
Glycerinchlorhydrindinitrat; Dinitrochlorhydrin 97
Glycerindinitrat 100
Glycerin-formiat-dinitrat; Dinitroformin 99
Glycerin-nitrolactat-dinitrat → Dinitroglycerinnitrolactat 101
Glycerintrinitrat → Nitroglycerin 215
glyceroldinitrophenylether dinitrate 103
glycerolnitrate → Nitroglycerin 215

glyceroltrinitrophenylether dinitrate 340
glyceryldinitrate 100
Glycidnitrat → Nitroglycid 218
Glycidylazidpolymer 148
Glykol 220
Glykoldinitrat → Nitroglykol 218
GN; GND; GNN → Kennzeichnung 179
Goma pura, Gomma A und Gomme A = Handelsname für Sprenggelatine (Spanien, Italien, Frankreich)
Grade A Nc = Nitrocellulose 12,6–12,7% N
Grade B Nc = Nitrocellulose 13,35% N
Grade C Nc = Nitrocellulose-Mischung von A und B
Grade D Nc = Nitrocellulose 12,2% N, ebenso Grade E (USA)
grade strength 44
Granatfüllung 88 = Pikrinsäure 239
Graphit 149
Grenzdurchmesser (Stahlhülsentest) 294
grisou **258**, 365
Grisoudynamite chlorurée No. 1, Grisoudynamite Roche à la cellulose usw. = Handelsname für Wettersprengstoffe (Frankreich)
Groftedynamit = Handelsname für einen gelatinösen Sprengstoff
Großbleiblock 29
Großbohrlochsprengverfahren **149**, 178
group P 1 u. s. w. = Wettersprengstoffgruppen (GB)
Grubengas **258**, 365
Guanidinnitrat, Guanidinsalpeter, guanidine nitrate 52, **150**, 221, 315
Guanidinperchlorat; guanidine perchlorate 131, **151**
Guanidinpikrat; guanidine picrate 131, **151**
Guanite = Nitroguanidin 220
N-Guanylharnstoffdinitramid (GUDN, FOX-12) ■■
Guarmehl; guar gum; flarine de guar 152
GUDN = N-Guanylharnstoffdinitramid = FOX-12 ■■
Gudolpulver = Geschützpulver → (Polpulver) aus → Nitrocellulose, → Nitroglycerin und → Nitroguanidin
Gummidynamit = Handelsname für einen gelatinösen Sprengstoff (Norwegen)
gun cotton = Nitrocellulose 209
GUNI = Guanidinnitrat 150
gun powder 252
Gurdynamit 152
Gurit = Spezialsprengstoff für → schonendes Sprengen (Schweden)
GSX ■■

H

H; HN; HU → Kennzeichnung 179
H-6 =Mischung Hexogen/TNT/Aluminium/Wachs 45/30/20/5 (USA)
H-16 = 2-Acetyl-4,6,8-trinitro-2,4,6,8-tetrazanonandiacetat (USA)
HADN = Hexamethylendiamindinitrat (USA)
Haftvermögen → case bonding 62
Halbgelatinen 268
Halbleiter-Brücken-Zünder (SCB) ■■
Haleite, Halite → Ethylendinitramin 122
Halogenfluorid 250
Halbsekundenzünder 59
hangfire = Spätzündung
Hansentest 152
Harnstoffnitrat 152
HBX-1 = Mischung von Hexogen, TNT und Aluminium (USA) 153
HC3 = Mischung von Hexachlorethan und Zink (Rauchsatz; USA)
HE = „high explosive“ (USA)
HEAP = „armorpiercing“
HEAT = Antitank-Hohlladung
heat of combustion 351
heat of explosion 133
heat of formation 46
heat sensitivity 293
HEATT = „hollow charge with tracer“
HEF = „high energy fuel“, z. B. Borane (USA)

HEF-2 = Propylpentaboran
HEF-3 = Triethyldekaboran
HEF-5 = Butyldekaboran (USA)
HEI = brisanter Bandschutz mit Leuchtspur (USA)
Heizsatz 143
Hellhoffite 140
Helneiyaku = Trinitrophenetol (Japan) 339
HeNBu = Hexanitrobutan (USA)
Heptryl 153
Hercogel = Handelsname für einen gelatinösen Sprengstoff
Hercol; Hercon; Hercomite = Handelsname für pulverförmige Sprengstoffe
Hercomix = Handelsname für ein → ANFO-Sprengmittel
Hercosplit = Handelsname für einen Spezialsprengstoff für → schonendes Sprengen (USA)
Hess, Stauchung nach 58
HETRO = Granulat aus → TNT, → Hexogen und Additiven (Schweiz)
Hex 154
HEX-24; -48 = Mischungen aus $KClO_4$, Aluminium, Hexogen und Asphalt (USA)
Hexal 12, **154**
Hexamethylendiisocyanat 154
Hexamethylentetramin 155, 156, 166
Hexamethylentetramindinitrat, Hexamindinitrat; Hexamethylentetramine dinitrate 155
Hexamethylentriperoxiddiamin; hexaméthylénetriperoxyddiamine 131, **156**, 248
Hexamin → Hexanitrodiphenylamin 159
auch: Kurzform für Hexamethylentetramin 155, 156, 166
Hexanite 156
hexanitrate de dipentaerythrite 108
hexanitrate de mannitol 223
Hexanitroazobenzol; hexanitroazobenzene 131, **157**
Hexanitrobiphenyl 158
Hexanitrocarbanilid 131, **157**
Hexanitrodipentaerythrit 108
Hexanitrodiphenyl 131, **158**
Hexanitrodiphenylamin 131, **159**, 254, 315
Hexanitrodiphenylaminoethylnitrat 131, **160**
Hexanitrodiphenylether; Hexanitrodiphenyloxid 131, **161**
Hexanitrodiphenylglycerinmononitrat 131, **160**
Hexanitrodiphenylharnstoff = Hexanitrocarbanilid 157
Hexanitrodiphenyloxid 161
Hexanitrodiphenylsulfid 162
Hexanitrodiphenylsulfon; hexanitrodiphenylsulfone 162
Hexanitroethan 163
Hexanitrohexaazaisowurtzitan **164**, 315
hexanitrohexaazaisowurtzitane 164
Hexanitromannit 132, **223**
Hexanitro-oxanilid 132, **165**
Hexanitrostilben 132, **165**
Hexanitrosulfobenzid = Hexanitrodiphenylsulfon 132, **162**
Hexastit = Hexogen, mit 5% Wachs phlegmatisiert (Schweiz)
Hexil; Hexile = Hexanitrodiphenylamin 159
Hexocire = Hexogen, mit 5% Bienenwachs phlegmatisiert (Frankreich)
Hexogen; hexogène = RDX 30, 52, 66, 68, 69, 119, 128, 132, 153, 154, 155, **166**, 195, 248, 257, 268, 275, 295, 315, 325, 326, 347
Hexolit; Hexotol 66
Hexoplast = plastischer Sprengstoff aus Hexogen, Nitrocellulose und DNT-TNT-Gemisch
Hexotonal 13, 167
Hexyl = Hexanitrodiphenylamin 159
HiCal = hochenergetischer Raketentreibstoff (USA)
High Pressure Gelatin = Ngl.-Gelatine (IRECO, USA)
HMTA = Hexamethylentetramin (USA) 167
HMTD = Hexamethylentriperoxiddiamin 156
HMX = Oktogen 168, 231
HN = Hydrazinnitrat (USA) 172
HN → Kennzeichnung 180

HNAB = Hexanitroazobenzol (USA) 157
HNB = Hexanitrosobenzol (USA)
HNCb1 = Hexanitrocarbanilid (USA) 157
HNDP; HNDPhA = Hexanitrodiphenylamin (USA) 159
HNDPA = Hexanitrodiphenyl (USA) 159
HNDPhAEN = Hexanitrodiphenylaminoethylnitrat (USA)
HNDPhBzl = Hexanitrodiphenylbenzyl (USA)
HNDPhGU = Hexanitrodiphenylguanidin (USA)
HNDPhSfi = Hexanitrodiphenylsulfid (USA) 162
HNDPhSfo = Hexanitrodiphenylsulfon (USA) 162
HNDPhU = Hexanitrodiphenylharnstoff (USA) 157
HNEt = Hexanitroethan (USA) 163
HNF = hydrazinium nitroformate
HNG = Hydrine-nitroglycerin (USA)
HNH = Hexanitroheptan (USA)
HNIW → Hexanitrohexaazaisowurtzitan 164
HNM = Hexanitromannit (USA) 223
HNO = Hexanitrooxanilid (USA) 165
HNS = Hexanitrostilben (USA) 165
hochkonzentrierte Salpetersäure 140, 141, 250
hochkonzentriertes Wasserstoffperoxid 35
Hohlladung; hollow charge 168
Hoko = Kurzbezeichnung für „hochkonzentrierte Säure“ (BRD)
Holland-Test 170
Holtex → Polpulver mit → Nitropenta als formfester Sprengstoff
Holzkohle 262
Holzmehl 23, 251, 315
Holzzellstoff 209
Homocyclonit = Oktogen 231
hot spots → Micro Ballons 202
hot storage tests = Warmlagerteste 355
HOX = Di-trinitroethylnitramin (USA) 111
Hoxonit = plastischer Sprengstoff aus → Hexogen, → Nitroglycerin und → Nitrocellulose (Schweiz)
HTA = Hexogen/TNT/Aluminium 40/40/20
HTA-3 = Oktogen/TNT/Aluminium 49/29/22 (USA)
HTP = Wasserstoffsuperoxid (GB)
HTPB = Polybutadien mit Hydroxyl-Endgruppen (USA)
Hülsenlose Munition **170**, 350
Hugoniot-Gleichung;
Hugoniot-Kurve 77
HU-Zünder 59
HVD = high-velocity detonation (USA)
Hybrids 137, **171**, 247
Hydrazin 5, 10, 141, **171**
Hydrazinnitrat 128, 132, **172**, 315
Hydrazinperchlorat 132, **172**
Hydrodynamische Theorie der Detonation **72**, 133
Hydropruf = Handelsname für einen gelatinösen Wettersprengstoff (GB)
Hydan ■■
HYDYNE = Dimethylhydrazin/Diethylentriamin 60/40 (USA)
Hygroskopizität → Wasserfestigkeit 358
Hyman = Nitromethylglycolamidnitrat (USA)
Hypergole 141, **173**, 378

I

IBEN = Brandbombe mit Sprengladung (USA)
ICAO TI 142, 173
ICBM heißt intercontinental ballistic missile
ICT; Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie 173
Idrolita = Ammonsalpeter/Hexogen/Paraffin/Wasser, 70/20/3/7 (Italien)
Ifzanite = Slurries (russisch)
Igdanite = Handelsname für ANFO-Sprengstoffe (russisch)
igniter cord,
igniter cord connector 27
illuminant composition = Leuchtsatz

Imatrex = schwedischer Handelsname für Miedziankit (vor Ort gemischter Chloratsprengstoff)
IMDG Code **142**, 173
impact sensitivity 255
Impedanz 79
Impuls; impulse spécifique → Spezifischer Impuls 273
Incendiary → Thermit 296
incompatibility = Unverträglichkeit → (Vakuumtest)
Independent A usw. = Handelsnamen für Wettersprengstoffe (USA)
industrial explosives 147
(to) inflame; inflammer 26
infusion blasting → water infusion blasting 325
Ingolin 35
inhibited propellant = Oberflächenbehandelter Treibsatz → Nitrocellulose-Pulver)
Initialsprengstoffe; initiating explosives 174
initiation; Initiierung 378
Injektoren; water driven injector transport; transport par injection d'eau → Emulsionstransport 117
Injektor-Nitrierverfahren 217
Innenbrenner 137
Innenhütchen 275
Innere Energie, Tabelle 320
Instadet = Detonator (IRECO, USA)
Instantaneous detonators 277
Institut für Chemisch-Technische Untersuchungen, jetzt Bundesinstitut → BICT 46
internal energy 302, 320
internal enthalpy 310, 322
inverses Salzpaar, ion exchanged (salt pair) permitted explosives 366
Ionentreibstoffe 174
IPN → Isopropylnitrat 245
Irecoal, Irecogel (Wettersprengstoffe; Irecornit, Iredyne, Ireseis → (Slurry) sind gewerbliche, Ireflo ist ein flüssiger Sprengstoff; Irecord = Sprengschnur; Iredet = Detonator; alles Produkte von IRECO; USA
IRFNA = „inhibited red fuming nitric acid" ($HNO_3/N_2O_4/HF/H_2O$ 82,5/14/0,5/3) (GB)
iron acetylacetonate 116
Irregel = slurry – Sprengstoff (Kanada)
I. S. L.; Deutsch-Französisches Forschungsinstitut St. Louis 174
Isocyanat ■■
Isophoron diisocyanat 175
Isopropylnitrat; isopropyl nitrate 245
Isosorbitdinitrat 175

J

Jagdpulver → Schießpulver 252
JATO heißt jet assisted take off charge
JCZ = Jakobs-Cowperthwaite-Zwisler-Zustandsgleichung → Zustandsgleichung 378
jet perforating → Perforation von Bohrlöchern 237
jet tapper → Abstichladungen 3
Jodkalistärke-Test; Jodzinkstärke-Test → Abeltest 2
JP; JP-1; -2; -3; -4; -5 = Raketen-Brennstoffe versch. Kohlenwasserstoffe (USA)
JPT = double base – Treibstoff-Röhrchen, für → Bazooka 43
JP-X = JP-4/UDMH 60/40 = hypergolisierter Brennstoff (USA)
Juinite = Ethylendiurethan (Frankreich)
Jumping mortar test 28

K

K-2; -2 Splav = Mischung von TNT und TNB oder Dinitronaphthalin (russisch)
K 1 F = Chlortrifluorethylen-Polymer (USA)
Kalisalpeter → Kaliumnitrat 176
Kaliumbitartrat 206
Kaliumchlorat 65, **176**
Kaliumnitrat **176**, 251, 262
Kaliumperchlorat 177

Kaliumpermanganat 354
Kaliumsulfat 136, 206
Kalksalpeter → Calciumnitrat **61**, 314
kalorimetrische Bombe 134
„Kalte“ Pulver 178
Kammerminensprengungen 178
Kampfer → Campher **61**, 314
Kanaleffekt 178
Kantenmörser; Kanten-Ladungsverhalten 179, 369
KA-Prozeß (Hexogen-Synthese) 167
Karben → Carben 62
Karitto = Schwarzpulver (Japan)
KA-Salz = Hexogen aus der Synthese nach *Knöfler-Apel* 167
Kast, Brisanzwert nach;
Kast, Stauchung nach 57
Kcilil = Trinitroxylol (russisch)
KDNBF = Kaliumdinitrobenzofuroxan (USA) → 4,6-Dinitrobenzofuroxan 94
Kel-F = Chlortrifluorethylen – Polymer
9010 = RDX/Kel-F 90/10
Kennzeichnung 179
Kerosin 316
Kerosole = Metall-Dispersionen in Kerosin (USA)
Keten → Bildung von Tetranitromethan 289
Keyneyaku = Trinitrophenetol (Japan) 339
Kibakuyaku = Initialsprengstoff (Japan)
Kieselgur 152
Klasse I, Klasse II; Klasse III-Sprengstoff → Wetter-Sprengstoffe 365
Kleen Kut = Spezialsprengstoff für → schonendes Sprengen
Klemmung 182
Knäpper; knäppern 34, 146, 183
Knallquecksilber 26, 31, 128, 132, 174, **182**, 248, 256
Knallsilber 270
KN-Pulver = Diglykoldinitrat – Pulver mit KNO_3
Kochsalz 366
Kohlenstaub; Kohlenstaubsicherheit 184
Kohle-Zement-Rohr 84, 371
Kokoshokuyaku = Schwarzpulver (Japan)
Kollergang 262
Kollodiumwolle → Nitrocellulose 210
Kolloksilin = Nitrocellulose 11–12% N (russisch)
Kondensatorzündmaschinen 376
kontinuierliche Herstellungsverfahren 217
Konturensprengen 259
Koomooliativuyye = Hohlladung (russisch)
Korngröße; Kornverteilung 1
Koruskativa 184
Krater-Methode 29
Kreide → Calciumcarbonat 314
Kresylith = Trinitrokresol 337
kritischer Durchmesser 184
krut = Pulver (Schweden)
K-Salz = RDX (Hexogen) nach dem K-Verfahren *(Knoefler)* 167
Kugelpulver **184**, 254
kumultive Zündung 185
Kunkeln **185**, 278
kunststoffgebundene Sprengstoffe **185**, 240
Kupferchromit 185
Kuppelbare Patronen 266
Kurzzeitmesser 82
Kurzzeitzünder 59
Kurzzeit-Zündmaschinen → Zündmaschinen 376
K-Verfahren → Hexogen 167

L

laboratory combustion chamber 55
Lacke, Nitrocellulose für 210
Ladedichte 186
Lade- und Misch-Lade-Geräte 280
Ladeschlauch 370
Ladungen zum Sprengen heißer Massen 3
Lagergruppen 187
Lagerung von Explosivstoffen 186
Langzeit-Teste 281
Langzeitzünder 355
Langzeit-Zündmaschinen → Zündmaschinen 376

large hole blasting 149
LASL = Los Alamos National Scientific Laboratory (USA)
LDNR = Bleidinitroresorcinat (USA)
LE = „low explosive"; Treibstoff (GB)
lead acetylsalicylate 49
lead azide 49
lead block test 50
lead ethylhexoate 53
leading line = Zündkabel
lead nitrate 53
lead styphnate 54
Lebensdauerteste 281
Lebhaftigkeitsfaktor 1
leg wires = Zündkabel
Leistungsfähigkeit von Sprengstoffen → Arbeitsvermögen 27
Leitschnur 26, 279
Leitungsprüfer → Zündkreisprüfer 375
Leuchtgeschosse, Leuchtsätze 193
Leuchtspur = tracer 193
LF heißt low freezing
LH_2 = „liquid hydrogen" (USA)
Lichtspur 193
Ligamita 1; 2; 3+3 = Handelsnamen für Nitroglycerin-Sprengstoffe (Spanien)
ligne de cordeau détonant = Leit-Sprengschnur
ligne de tir = Zündkabel
lined cavities → Hohlladung
Linters 209, 212
liquid explosives 139
liquid fluorine 140
liquid hydrogen 140
liquid $N_2O_4$140
liquid oxygen explosives 140
liquid oxygen (LOX) 139, 140
liquid propellants rockets = Flüssig-Treibstoff-Rakete
lissage 230
Lithergole 171
Lithiumnitrat; lithium nitrate 194
Lithiumperchlorat; lithium perchlorate 194
LJD = Lennard-Jones-Devonshire-Zustandsgleichung → Zustandsgleichung 378
LMNR = Bleimononitratresorcinat (USA)
LN → Bleinitrat (lead nitrate) 53
LN_2 = flüsiger Stickstoff (USA)
loading density 186
7-Loch-Pulver; 19-Loch-Pulver, lösemittelfreie Pulver; POL-Pulver; Schießpulver
Lösemittelpulver → Schießpulver 252
long feu = Spätzündung
LOVA 194
LOVA-Treibladungspulver 195
low freezing explosives 144
LOX → flüssiger Sauerstoff 196
LOZ = flüssiger Ozon
LP = liquid propellant
Lucite = Acrylsäuremethylesterpolymer (USA)
lueur à la bouche 205
Lump Coal AA = Handelsnamen für pulverförmige Wettersprengstoffe (USA)
LVD = „low velocity dynamite" (USA)
LX-04 = Mischung 85,1% Oktogen und 14,9% Viton A (Fluor-Kohlenstoff-Polymer) 196
Lyddit → Pikrinsäure 239

M

M-1; M-6; M-15 usw. sind Typenbezeichnungen für amerikanische Rohrwaffenpulver
M 3 = Kerosen, hypergolisiert durch Zusatz von 17% UDMH (USA)
MABT = Mischung aus TNT, Pikrinsäure und Dinitrophenol (Italien)
Macarite = Mischung von TNT und Bleinitrat (Belgien)
MAF-40 = Amin-Brennstoffmischung (Hydine) (USA)
MAF-X = aminhaltiger Brennstoff
Magnadet = elektrischer Detonator (ICI, England)
Magna Primer = Zündverstärker aus → TNT/Nitropenta (ICI, England)
Magnesiumtrinitroresorcinat; Magnesiumstyphnat 54
MAN = Methylaminnitrat 199
Mannithexanitrat; mannitol hexanitrate → Nitromannit 223

Manöverpulver → Schießpulver 252
Mantelsprengstoffe sind Wettersprengstoffe 268
MAPO = Methylaziridinphosphinoxid 196
Martinite = Handelsname für einen gelatinösen Sprengstoff (Frankreich)
Marschsatz; Marschschub 221
Massen-Durchsatz 1
Massen-Explosionsfähigkeit;
Massen-Explosionsgefährlichkeit; mass explosion risk 197
Massenverhältnis 35, **197**
MAT = Mischung von TNT und Pikrinsäure (Frankreich, Italien)
Matagnite = Handelsname für einen Sprengstoff (Belgien)
Matsu = Sprenggelatine (Japan)
MBT = Mischung von Pikrinsäure und Dinitrophenol (Frankreich; Italien)
MDF = „mild detonating fuse“ (0,2–0,4 g Nitropenta/m) (USA)
MDN = Mischung von Pikrinsäure und Dinitronaphthalin (Frankreich)
MeAN = MAN = Methylaminnitrat (USA) 199
mêches 263
MeDINA; MeEDNA = Methylethylendinitramin (USA)
Mehlpulver 139, **198**, 263
Mehrlochpulver 1, 212, 252
Meiaku = Tetryl (Japan)
Melinit → Pikrinsäure 239
Mélinite/O („ordinaire“) = Pikrinsäure mit 0,3% Trinitrokresol
Mélinite/P = Pikrinsäure mit 12% Paraffin (Frankreich)
MeN = Methylnitrat (USA) 199
MeNENA = 1-Nitroxytrimethylen 3-nitramin (USA)
Menkayaku = Nitrocellulose (Japan)
mercury fulminate → Knallquecksilber 182
merlon → Schutzwall 260
Mesa-Abbrand 1, 198
Meßei 142
Meßgeber 259
metadinitrobenzene; métadinitrobenzène 95
Metallbearbeitung durch Sprengstoffe 198
metatelnyi zariad = Treibladung (russisch)
Methan, méthane 258, 365
Methoxy-trinitrobenzol → Trinitroanisol 332
Methylaminnitrat; methylamine nitrate 199
Methyldiphenylharnstoff; methyldiphenylurea = Akardit II 11
methylenamidosulfonsaures Kalium 167
Methylendinitrotetrazacyclooctan (Vorstufe Oktogen) 232
Methylethyldiphenylharnstoff; méthyléthyldiphénylurée → Centralit III 65
Methylglycerintrinitrat 60
Methylnitrat 199
Methylnitroglykol → Propylenglykoldinitrat 244
Methylnitropropandioldinitrat 225
Methylphenylurethan **200**, 280
methyl picrate; Methylpikrat → Trinitroanisol 332
Methyltrimethylolmethantrinitrat → Metrioltrinitrat 201
Methylviolett-Test 201
Metolit = Lösung von Methylamin in konz. HNO_3
Metrioltrinitrat, „MetrTN“ 201
Mexobel no. 2 = Handelsname für einen Wettersprengstoff (USA)
MF = mercury fulminate = Knallquecksilber (USA) 182
MHF = Hydrazin-Raketenbrennstoff mit Hydrazinnitrat (USA)
MHN → Nitromannit 223
Miedziankit war eine Mischung aus 90% $KClO_3$ und 10% Petroleum
mild detonating fuse = nichtsprengkräftige detonierende Zündschnur
millisecond delay blasting;
millisecond delay detonator 59
Millisekunden-Sprengen 59, **202**
Millisekundenzünder 59
Minex = Handelsname für einen pulverförmigen Sprengstoff (Frankreich)

Minex = Mischung RDX/TNT/AN und Aluminium 203
mine explosives 43
miniaturized detonating cord (mild detonating fuse) = → Sprengschnur mit einer Ladung ≦ 0,1 g/m
Minol = Mischung RDX/TNT und Aluminium 203
Minolex = Mischung aus den gleichen Komponenten wie bei Minex
Minurex = Handelsname für einen gewerblichen Sprengstoff (Frankreich)
Mischeinrichtung, fahrbare 117, 276, 280
Mischsäure 203
misfire = Versager
missile 247
M. J. = mineral jelly = Vaseline (GB)
ML → Kennzeichnung 180
MltON = Maltoseoctanitrat (USA)
MMA = Methylmethacrylat (USA)
MMeA = Mononitromethylanilin (USA)
MMH = Monomethylhydrazin (USA)
MN = Mononitrotoluol 228
MNA = Mononitroanilin (USA)
MNAns = Mononitroanisol (USA)
M. N. B. = Mononitrobenzol (USA; GB)
MNBA = Mononitrobenzaldehyd (USA)
MNBAc = Mononitrobenzoesäure (USA)
MNCrs = Mononitrokresol (USA)
MNM = Mononitromethan (USA) 224
M. N. N. = Mononitronaphthalin (USA; GB)
MnnHN = Mannithexanitrat (USA) 223
MNO = Dinitrodimethyloxamid (USA) 98
M. N. T. = Mononitrotoluol (USA; GB) 228
MNX = Mononitroxylol
mock explosives = Attrappen
Mörser → ballistischer M.; 40
Kohle-Zement-M; 84
Kanten-M.; 369
Spring-M.; 28
Tonnen-M.; 28
Momentzünder 59, 277
Monergol 203
Monobel 204
Monochlordinitrin; Monochlordinitroglycerin → Dinitrochlorhydrin 97
Monoethanolamindinitrat 132, **203**
mononitrate d'hexanitrodiphénylglycérine 160
Mononitrotoluol 228
Monsanto M Pak = freirieselnder pulverförmiger Sprengstoff (USA)
Montanwachs → phlegmatisieren 237
mortier balistique 40
moteur fusée 247
moulage d'explosifs 243
mouton de choc 136
MOX = „metal oxidizer explosives" (USA) 205
MP = Pikrinsäure mit 12% Paraffin (Frankreich)
MP 14 = $KMnO_4$ als Katalysator für den H_2O_2 Zerfall
M-Stoff = Methylalkohol, auch mit Zusatz von Hydrazinnitrat
MTN = Metrioltrinitrat (USA)
muckpule = Haufwerk
mud cap 34
Mündungsfeuer; mündungsfeuerfreie Treibsätze 205
Muenyaku = rauchloses Pulver (Japan)
Multicord = Sprengschnur mit 40 g und 100 g/m (Nitropenta (BRD) 206
Multiprime = Verstärkerladung aus → TNT/ → Nitropenta (ICI, England)
Munroe-Effekt 206
Musketpulver → Schwarzpulver 262
muzzle flash 205
MVD = „medium velocity dynamite", 75/15/10 RDX/TNT/Plastifiziermittel (USA)
Myrol → Methylnitrat 199

N

Nabit A = Handelsname für einen pulverförmigen Sprengstoff (Schweden)
NAC = Nitroacetylcellulose (USA; Italien)

Nachdetonation, Nachflammen 206
Nachheizung 12
Nafolit = Tetranitronaphthalin (Frankreich) 290
NAGu = Nitroaminoguanidin (USA)
Nano-Materialien ■■
Napalm 207
Naphtit = Trinitronaphthalin 338
NATO = North Atlantic Treaty Organization → AGARD 5
Natriumazid 8, 15, 36, 49, 328
Natriumbicarbonat 316
Natriumchlorat 207
Natriumchlorid 318, 366
Natriumnitrat
= Natriumsalpeter 207, 316
Natriumperchlorat 208
NBSX = 1,7-Dinitroxy-2,4,7-trinitro-2,4,6-triazaheptan (USA)
NBYA = Di-(trinitroethyl)-harnstoff (USA)
NC = Nitrocellulose 209
N. C. N. = „Nitrocarbonitrat“ (blasting agent) 48
NDNT = AN/Dinitronaphthalin/TNT 85/10/5 (Frankreich)
NDPA = Dinitrodiphenylamin ■■
NENA = N-(2-nitroxy)-nitraminethan (USA)
NENO = Dinitrodioxyethyloxamiddinitrat (USA) 98
NEO = Diglycoldinitrat (Frankreich)
Neonite = → oberflächenbehandeltes Nitrocellulosepulver (GB)
Neopentylglykoldinitrat 208
NEPD = Nitroethylpropandioldinitrat (USA)
Neumann-Effekt = → Hohlladungseffekt 168
Neuvalin = konz. Wasserstoffperoxid
New Fortex = Sprengstoff aus Tetryl und AN (GB)
NG; Ngl. = Nitroglycerin 215
NGc = Nitroglycol (USA) 218
nib – glycerol trinitrate 222
Nigotanyaku = RDX/TNT-Mischung (Japan)
Nigu; Nigu-Pulver 220, 253
Nilite = pulverförmiges „blasting agent“ (USA)
NIP = Nitroinden-Polymer (USA)
Niperyt = Nitropenta 226
Nisalit = stöchiometrische Mischung aus HNO_3 und Acetonitril (BRD)
Nitramex; Nitramite; Nitramon = pulverförmige „blasting agents“ (USA)
Nitramine, aliphatische; aromatische 30
nitrate d’amidon 228
nitrate d’ammonium 21
nitrate de barium 42
nitrate de calcium 61
nitrate de dinitrophénoxyéthyle 103
nitrate de guanidine 150
nitrate de lithium 194
nitrate de méthylamine 199
nitrate de méthyle 199
nitrate de plomb 53
nitrate de polyvinyle 242
nitrate de potassium 176
nitrate de propyle 245
nitrate de sodium; de soude 207
nitrate de strontium 283
nitrate de sucre 229
nitrate de tétraméthylammonium 285
nitrate d’éthyle 123
nitrate de triaminoguanidine 326
nitrate de triméthylamine 330
nitrate de trinitrophénylnitramine-éthyle 340
nitrate de trinitrophényloxéthyle 341
nitrate d’hexanitrodiphénylamino-éthyle 160
nitrate d’hexanitrodiphényleglycérine 160
nitrate d’hydrazine 172
nitrate d’isopropyle 245
nitrate durée 152
nitre 176
Nitrobaronite B = Handelsname für einen gewerblichen Sprengstoff (Frankreich)
Nitroboncellite = Handelsname für einen gewerblichen Sprengstoff (Belgien)
Nitro-carbo-nitrat → blasting agent 48
Nitrocellulose 8, 31, 52, 128, 131, 136 **209**, 217, 241, 246, 248, 257, 295, 316
Nitrocellulosepulver 128, **212**, 252, 280, 281
Nitrocoopalite = Handelsname für

einen gewerblichen Sprengstoff (Belgien)
Nitrodiethanolamindinitrat 107
Nitrodiphenylamin 280, 316
Nitroerythrit 213
Nitroethan 214
Nitroethylpropanedioldinitrat 214
Nitroform; nitroforme 215
nitrogen tetroxide 141
nitroglitserinovyye porokha = double base – Pulver (russisch)
Nitroglycerin; nitroglycérine 23, 31, 52, 113, 127, 128, 132, 136, 139, **215**, 217, 241, 246, 248, 251, 252, 256, 295, 316
Nitroglycerin-Pulver 10, 63, 67, 113, 129, **217**, 221, 241, 246, 252, 280
Nitroglycid 218
Nitroglykol; nitroglycol 23, 31, 52, 128, 131, 139, **218**, 248, 256, 295, 316
Nitroguanidin; (picrit) 31, 136, 150, **220**, 251, 253, 316
Nitroguanidin-Pulver 128, 221, 252
nitrogurisen = Nitroglycerin (Japan) 215
Nitroharnstoff 222
Nitrohydren → Nitrozucker 229
Nitroisobutantrioltrinitrat; nitroisobutylglyceroltrinitrate Nitroisobutylglycerin 222
nitrokletchatka = Nitrocellulose (russisch)
Nitrokörper, aliphatische 214, 215, 224
Nitrolit = Trinitroanisol 332
Nitromannit 223
Nitromethan 25, 140, **224**
Nitromethantrimethyloltrinitrat,
Nitromethylmethandimethyloldinitrat, Nitromethylpropandioldinitrat 225
Nitroparaffine 214, 215, 224
Nitropenta; Nitropentaerythrit 31, 52, 128, 132, 136, **226**, 236, 256, 275, 279, 295, 316
Nitropentaglycerin 201
Nitropentanon 285
Nitropropantrioltrinitrat 222
Nitrostärke; nitrostarch 228
nitrosugar 229
Nitrotetryl = Tetranitrophenylmethylnitramin
Nitrotoluol, nitrotoluène 228
nitrourea; nitrourée 222
Nitrozucker 229
NM = Nitromethan 139, **224**
Nobelit® 229
Nobelite = Anfo mit I (ICI; UK)
Nobelite = Handelsname für ein ANFO blasting agent (GB)
Nobélite = Handelsname für einen gelatinösen Sprengstoff (Frankreich)
Nobels' safety powder
Noburex = Handelsname für einen gewerblichen Sprengstoff (Frankreich)
no-fire current = Grenzstromstärke
Nonel = Handelsname für ein „non electric"-Zündsystem (Schweden) 229
Normalgasvolumen; Normalvolumen 230, 302
Normalkorn → Schwarzpulver 262
Norm-Brennkammer 55
Novit = Mischung von Hexanitrodiphenylamin, TNT und Aluminium (Schweden)
nozzle 113
NQ → Nitroguanidin 220
NS = Nitrostärke (USA) 228
NSP = Treibstoffkombination aus Schwarzpulver und rauchlosem Pulver (BRD)
Nsug = Nitrozucker (USA) 229
N2N = AN/SN/TNT 50/30/20 (Frankreich)
NT = TNT/AN 30/70
NTNT = AN/TNT 80/20
Nudelpulver → Schießpulver 252
NX = AN/Trinitroxylol (Frankreich)

O

Oberflächenbehandlung 184, 212, **230**, 252
Oberflächenhärtung von Metallen 198
Octogen = Homocyclonite = HMX = Oktogen 231
Octol 231
Octyl = Bitetryl = N, N'-Dinitro-N,N'-

bis(2,4,6-trinitrophenyl)-ethylendiamin (GB)
Ohmmeter 375
Oil Well Explosive = Ngl.-Gelatine (IRECO; USA)
Oktogen 30, 132, **231**
onayaku = Mischung von Pikrinsäure und Dinitronaphthalin (Japan)
onde de choc; onde de détonation 72
ONERA heißt „Office Nationale d'Etudes et de Recherches" in Paris
Optolene = flüssiger Raketenbrennstoff aus Vinylethylether, Anilin, Teer, Benzol und Xylol
oshokuyaku = Pikrinsäure-Preßkörper (Japan)
ouvreuses explosives de percée = Abstichladungen 3
Ox = Carboran-Fluorcarbon-Copolymer (USA)
oxidizer 250
oxygen balance 251
Oxyliquit 140
Oxypikrinsäure = Trinitroresorcin 343
Oxytetryl = Trinitromethylnitraminophenol

P

P 1 = Methylenglykoldinitrat
P 2 = Methylendioxydimethanoldinitrat (USA)
P; PA; PAC; PAW; PCI; P I; P II; P III; P IV → Kennzeichnung 179
P (salt) = Piperazindinitrat (USA)
P.A. = Pikrinsäure (Frankreich) 239
PAC-Sprengstoffe 179, 233
PAN = Sprengstoff aus Nitropenta, Pentaerythrittetraacetat und AN
PANA = gleiche Mischung wie PAN plus Aluminium (Italien)
Panklastit 140
Paraffin 233
parallel connection; Parallelsprengen; Parallelschaltung 59, 233
Parazol = Dinitrochlorbenzol (USA) 96
partielle Explosionswärme 135, 307
PA-Sprengstoffe 15, 179
paste: auch = → Pulverrohmasse 246
Patrone 234
Patronendichte 234
PBAA = Polybutadienacrylsäure
PBAN = Polybutadien-Acrylsäure-Acrylnitril
PB-RDX = 90% RDX, 8,5 Polystyrol und 1,5% Dioctylphthalat (USA)
PBTC = Polybutadien mit Carboxyl-Endgruppen (USA)
PBU = Phenylbenzylurethan
PCX = 3,5-Dinitro-3,5-diazopiperidinnitrat (USA)
PCX = „plastic bonded explosive" (USA) 234
PDNA = Propylendinitramin (USA)
PE 1; 3A = plastifiziertes Hexogen (USA)
PEG = Polyethylenglycol (USA)
pelletol = freirieselndes TNT-Granulat (USA)
pellet powder 235
Pellite = Handelsname für ein ANFO blasting agent (USA)
Pendel; pendulum test → ballistischer Mörser 40
Penobel = Wettersprengstoff (ICI; UK)
Pentaerythrittetranitrat; pentaerythrol tetranitrate; Pentaryth = Nitropenta 226
Pentaerythrittrinitrat 235
Pentastit 236
Pentolite 236
Pentrit; Pentryl → Nitropenta 226
PENTRO = Mischung von Nitropenta, TNT und Paraffin 49/49/2 (Schweiz)
Pentryl = Trinitrophenylnitraminethylnitrat 340
PEP-2; PEP-3; PIPE = Mischungen von Nitropenta mit Gull Crown Oil (USA)
perchlorate d'ammonium 18
perchlorate de barium 43
perchlorate de guanidine 151
perchlorate de lithium 194
perchlorate de potassium 177

perchlorate de sodium 208
perchlorate d'hydrazine 172
Perchlorat-Sprengstoffe; perchlorate explosives 236
Perchlorat-Treibmittel → Verbundtreibsätze 351
percussion cap 26
Perforation von Bohrlöchern 237
perle d'allumage 40
Perlit → Pikrinsäure 239
permissibles; permitted explosives → Wetter-Sprengstoffe 365
peroxyde de tricycloacétone 3
peroxyde de zinc = Zinkperoxid 374
Peroxide, organische 237
Perspex = Acrylsäuremethylesterpolymer (= Plexiglas; Lucite) (USA)
Pertite = Pikrinsäure (Italien) 239
pétardage = Auflegerladung 34
PETN = Nitropenta 226
PETRIN = Pentaerythrittrinitrat 235
Petrogel = Handelsname für einen gelatinösen Spezialsprengstoff für seismische Messungen (USA)
Petroleum Jelly = Vaseline 237
Petron A = Handelsname für ein blasting agent für seismische Messungen (USA)
PETS = Pentaerythrittetrastearat
PE-Wolle = Nitrocellulose (niedrig.% N) (BRD)
PGTN = Pentaglycerintrinitrat
pH-Messung nach Hansen → Hansen-Test 152
phlegmatisieren; to phlegmatize 237
PH-Salz = Ethylendiamindinitrat 121
phthalate diamylique 88
phthalate dibutylique 90
Phthalsäuredibutylester 90
Picramid; picramide → Trinitroanilin 332
picramic acid 238
picrate d'ammonium 20
picrate de guanidine 151
Picratol 238
picric acid 239
Picrinita = Pikrinsäure (spanisch) 239
picrite = Nitroguanidin 220
Picrylchlorid = Trinitrochlorbenzol 336
Picrylsulfid 162
Picurinsan = Pikrinsäure (Japan) 239
Piezoquarz 36, 260
Pikramid = Trinitroanilin 332
Pikraminsäure 238
Pikrate 133, 240
Pikrinsäure 30, 52, 128, 133, **239**, 248, 251, 257, 316
Pikrinsäureethylether = Trinitrophenetol 339
Pikrinsäuremethylether = Trinitroanisol 332
Pirosilinovyye porokha = Nitrocelulosepulver (russisch)
Piroksilins N° 1 = Nitrocellulose 12–13% N; N° 2 = > 13% N (russisch)
plane charge → Flachladung (Hohlladung) 169
plane wave generators = Ladungen zur Erzeugung ebener Detonationsfronten
Plastex = Handelsname für einen plastischen Nitropenta-Sprengstoff (Schweiz)
plastic bonded explosives 66, 185, 234
plastic explosives → P.E. 66, 234
Plastic Igniter Cord = → Anzündlitze (ICI; UK)
Plastifizierungsmittel 66
plastische Sprengstoffe 66, 234
Plastisol = Raketen-Festtreibstoff aus Ammoniumperchlorat, PVC, Aluminium und Plastifiziermitteln
Plateau-Abbrand 1
plate dent test = US-Test; Vergleich der durch Ansprengen erzielten Vertiefung einer Platte
Plattieren → Metallbearbeitung durch Sprengstoffe 198
Platzpatrone = blank cartridge
Plumbatol = $Pb(NO_3)_2$/TNT 70/30 (USA)
PLX = „Picatinny liquid explosive" = 95% Nitromethan und 5% Ethylendiamin (USA)
PMA; PMMA = Acrylsäuremethylesterpolymer (Plexiglas, Lucite, Perspex)

PN = „poudre noir“ = Schwarzpulver 262
PNA = Pentanitroanilin (USA)
PNDPhEtl = Pentanitrodiphenylethanol (USA)
PNDPhEth = Pentanitrodiphenylether (USA)
PNDPhSfo = Pentanitrodiphenyl-Sulfon (USA)
PNP = Polynitropolyphenyl 241
POL-Pulver = double base Pulver „ohne Lösemittel“ 241
Polyacethylen → Carben 62
Poly-3-azidomethyl-3-methyl-oxetan (Poly-AMMO) ■■
Poly-3,3-bisazidomethyloxetan (Poly-BAMO) ■■
Polybutadien-Acrylsäure: -Acrylsäure-Acrylnitril; Polybutadien mit Carboxylendgruppen 185, 351
Polynitropolyphenylen 241
Polypropylenglykol 242, 325
Polysulfide 185, 351
Polytropenexponent 76
Polyurethan 185, 351
Polyvinylalkohol 242
Polyvinylnitrat; polyvinyle nitrate 31, **242**, 317
poröse Ammoniumsalpeterprills 21, 23
poröse Pulver 243
Positivliste → Sprengstoffgesetzgebung; explosionsgefährlicher Stoff 131, 132, 133, 279
potassium bitartrate 206, 252
posassium chlorate 176
potassium chloride = Kaliumchlorid 366
potassium nitrate 176
potassium perchlorate 177
potassium permanganate 354
potassium sulfate 136, 205
poudre à double base 209, 241, 252
poudre à simple base 212, 252
poudre B 243
poudre noire 262
poudre noire au nitrate de soude 278
poudre progressive 213, 244
poudres composites 351
poudre sphérique 184
Pourvex = Handelsname für einen Slurry (USA)
poussée 259
powder 252, 256
powder explosives 246
Powergel = Emulsions-Slurry (ICI; UK)
Powermite = Emulsions Slurry (IRECO; USA)
PPG = Polyprophylenglycol (USA) 242
Prallplatte → Kantenmörser 369
pre-ignition = vorzeitige Selbstentzündung
premature firing = Frühzündung
prequalification test = Vorprüfung (auf die härtesten Bedingungen)
pre-splitting = Vorspalten → Schonendes Sprengen)
Pressen von Sprengstoffen, press molding 243
Pressen von Treibsätzen 244
pression de gaz 142
pressure exponent 1, 36
Prillit 1 B = Handelsname für ein ANFO blasting agent (Schweden)
Prills → Ammonsalpeter 21, 23
Primärladung → Sprengkapseln 275
Primärsprengstoffe; primary explosives 174
Primacord = Sprengschnur
Primadet = nicht sprengkräftige detonierende Zündschnur
primary blast = erstes Absprengen (secondary = Nachzerkleinerung)
primary explosives = Initialsprengstoffe 174
produits de détonation 260
progressiver Abbrand; progressive burning 38, 230, 244, 252
Progressiv-Pulver 244
projektbildende Ladung → Hohlladung 168
projectil impact sensitivity 45
propellant 252, 326
propellant casting 148
Propergole 244
propulseur 247
Propylenglykoldinitrat; propylenglycol dinitrate 132, **244**

Propylnitrat;
Isopropylnitrat 132, **245**
protection contre les courants vagabonds 282
Protivotankovaya roochnaya zazhigatelnaya granata = Molotow cocktail (Chlorat-Brennstoffgemisch; Zündung mit Konz. H_2SO_4)
Prüfmethoden → BAM-Prüfmethoden 247, 255, 293
PS bezeichnet Polysulfide in Treibsätzen (war auch Kurzbezeichnung für Pikrinsäure)
PT_1; PT_2 → Kennzeichnung 180
PTX-1 = Picatinny ternary explosive = RDX/Tetryl/TNT 30/50/20 (USA)
PTX-2 = RDX/PETN/TNT 44/28/28 (USA)
PTX-3 = Mischung von Ethylendinitramin (EDNA) Tetryl und TNT (USA)
PTX-4 = Mischung von EDNA, Nitropenta und TNT (USA)
PU bezeichnet Polyurethan in Treibstoffen
Pulver → Schießpulver 252
Pulverförmige Sprengstoffe 246
Pulver-Lebhaftigkeit 1, 36
Pulver ohne Lösemittel → POL-Pulver 241
Pulverrohmasse 246
Pulversprengmittel → Schwarzpulver 262
Pulverzündschnüre → Schwarzpulveranzündschnüre 264
PVN = Polyvinylnitrat 242
Pyrocore = Sprengschnur für Raketenzündung
Pyronite = Tetryl 292
pyropowder = Nitrocellulose-Pulver (GB)
Pyroschliff → Aluminiumpulver 12
Pyrotechnik → Feuerwerk 138
pyrotechnical compositions 138
PYX = 2,6-bis-(Pikrylamino)-3,5-Dinitropyridin

Q

QDX = SEX = 1-Acetyloctahydro-3,5,7-trinitro-1,3,5,7-tetrazocin (USA)
quality requirements for industrial and military explosives 32
Quecksilberfulminat → Knallquecksilber 182
Quellgießverfahren 148
Quellmittel 12
Querschnittsverhältnis 246
quick-match = Stoppine
quickness 36

R

R → Kennzeichnung 180
Radikale → freie Radikale 141
Rakete; Raketenmotor 247
Raketenprüfstand 247
Raketentreibmittel 5, 18, 35, 49, 92, 116, 137, 148, 171, 172, 173, 203, 242, 244, 310, 351
Ramjet = Luft-atmendes Raketentriebwerk
rapport d'expansion 246
„Raschite" („Weißpulver"), waren aus wasserlöslichen Brennstoffen (z. B. kresolsulfonsaurem Natrium) und Nitraten zusammengesetzt
raté = Versager
RATO = „rocket assisted take off"
rauchloses; rauchschwaches Pulver 252
Rayleigh-Gerade 77
RDX → Hexogen 166
RDX class A-H = Hexogen in verschiedenen Auswahlkörnungen
RDX/Kel-F 90/10 = Hexogen, phlegmatisiert mit 10% Chlortrifluorethylen-Polymer
RDX/Polar/PE = Hexogen, plastifiziert mit 12% Gulf 300 process oil und Lecithin
RDX type A = Hexogen aus HNO_3-Nitrierverfahren
RDX type B = Hexogen aus dem Bachmann-Prozeß (→ S. 166); es enthält 3–12% → Oktogen (USA)

reactivity test 350
Red Cross „Extra“ = Handelsname für einen halbgelatinösen Sprengstoff (USA)
Red Diamond = Handelsname für ein → ditching dynamite
Red HA; HB usw. = Handelsname für pulverförmige Wettersprengstoffe (USA)
Reduced Sensitivity → Rs-
Règlement international concernant le Transport des Marchanises Dangereuses → RID
Reibapparat der BAM; BAM-Prüfmethoden 247
Reibempfindlichkeit 247
relative weight strength 40
Reolit; Reomex = Handelsname für slurry-Sprengstoffe (Schweden)
résistance à l’eau 358
Resonanz → erosiver Abbrand 120
resserrement („Klemmung“) 182
restrictes propellant = Oberflächenbehandeltes Treibmittel
RF-208 = Organische Phosphorverbindung zum Hypergolisieren von Raketenbrennstoffen
RFG = „rifle fine grain powder“
RFNA = „red fuming nitric acid“ (GB)
RG → Kennzeichnung 180
Richtlinien der Berufsgenossenschaft der Chemischen Industrie → auch; Unfallverhütungsvorschriften) 70, → s. Lit.-Anhang
RID = Règlement International concernant le transport des marchandises dangereuses 249
rifle bullet impact test = → Beschußsicherheits-Probe 45
RIPE = Hexogen, plastifiziert mit 15% Gulf Crown Oil (USA)
Roburit → Wetter-Roburit 364
Roche Cellulose Plastique = Handelsname für einen gelatinösen Sprengstoff (Frankreich)
rocket, rocket motor; rocket test stand 247
Röhrchenpulver; Röhrenpulver → Schießpulver 252
Rohmasse → Pulverrohmasse 246
Rohrlebensdauer 254
roquette 247
roquette à propergol liquide 141
roquette à propergol solide 137
Round Robin-Test 250
Rossite = Guanylnitroharnstoff (USA)
RP-1 = Kerosen-Type als Raketenbrennstoff (USA)
RS- = Reduced Sensitivity ■■
R-Salz = Cyclotrimetyhlentrinitrosamin 69
rubberlike propellant = Polysulfid-, Polyurethan oder Plastisolbasierender → Verbundtreibstoff
russische Methode → Nitrocellulose 209
Russkii Koktel = „russischer Cocktail“ = $KClO_3$ und Nitrotoluol in Glasbehältern; Zündung durch konz. H_2SO_4
Russkii Spalv = Mischung von Pikrinsäure und Dinitronaphthalin (russisch)
RX und RX Plus = pumpfähige Emulsions-Slurries (IRECO; USA)
RX-09-AA = Oktogen/Dinitropropylacrylat/Ethyldinitropentanoat 93,7/5,7/0,6
RX-04-AV = Oktogen/Polyethylen 92/8
RX-04-BY = Oktogen/ → FNR 86/14
RZ-04-AT = Oktogen/ → Ox 88/12
RZ-04-PL = Oktogen/Viton 80/20 (USA)

S

SA → Kennzeichnung 180
Safe & Arm = Sicher & Scharf (-Stellung in Waffen)
safety explosives → Wettersprengstoffe 365
safety fuses 264
Saint-Venant-Formel → Ausströmgeschwindigkeit 35
SAK → Kennzeichnung 180
Salpeter; salpètre, saltpetre = Kaliumnitrat 176
Salpetersäure 139, 140, 247
Salpetersäureester 31

Salzpaar-Wettersprengstoffe 365
Sand-Test 250
Sanshokitoruoru = TNT (Japan)
Sauerstoffbilanz, Sauerstoffwert 251
Sauerstoffträger 250
sautage à grand trou 149
sautage par grands fourneaux de mines 179
SBA = „slurry blasting agent“ (USA)
SCB (Semiconductor Bridge Igniter) → Halbleiter-Brücken-Zünder ■■
schiebende Wirkung 12
Schießbaumwolle → Nitrocellulose 209
Schießpulver 252
Schießpulverzusätze 10, 11, 49, 53, 61, 63, 64, 88, 90, 108, 237, 252, 280
Schießschalter → Zündschalter 377
„Schießwollen“ = Torpedo-Ladungen 12, 159, 254
Schlagempfindlichkeit 255
Schlagpatrone 375
Schlagwetter; Schlagwettersicht 258, 365
schlagwettersicherer Zünder 59
Schmelzwärme fester Schwadenbestandteile 319
Schneckenpressen 258
Schneiderite 102
Schneidladungen 258
schonendes Sprengen 259
Schub; Schubmessung 259
Schutzwall 260
Schwaden 260
Schwadenbeurteilung 261
Schwadenvolumen → Normalvolumen 230
Schwadenzusammensetzung 298
Schwarzpulver 119, 128, 139, 176, 185, 198, **262**, 264, 277, 359
Schwarzpulveranzündschnüre 264
Schwefel 264
Schwingungsmesser 265
screw extruder 258
SD = → POL-Pulver (Frankreich)
SDMH = Symmetrisches Dimethylhydrazin (USA)
SE = „slurry explosive“ (USA)
secondary explosives 268
Securit → Wetter-Securit 365
sécurité à l’impact de projectiles 45
Seismex; Seismex Primer = Handelsname für pulverförmige Sprengstoffe in kuppelbaren druckfesten Dosen für seismische Sprengungen (USA)
seismische Sprengstoffe 266
Seismo-Gelit 266
Seismoplast 240, 267
Seispulse = Ngl.-Halb-Gelatine für die Seismik (IRECO; USA)
Sekundärladung → Sprengkapseln 275
Sekundär-Sprengstoff 268
selektive Detonation 81
semigelatin dynamite 268
Semtex 268
Sensibilisierung 116
Sensibilität → Empfindlichkeit; 116 Reibempfindlichkeit; Schlagempfindlichkeit; thermische Sensibilität 247, 255, 293
sensibilité à la chauffage externe 293
sensibilité à l’impact 255
sensibilité au frottement 247
sensibility; sensitivity 116
S. G. P. bezeichnet Wettersprengstoff in Belgien
shaped charge → Hohlladung 168
sheathed explosives 268
shelf life (storage life) 281
Shellite waren Gemische aus Pikrinsäure und Dinitrophenol
Shimose = Pikrinsäure 239
shock pass heat filter 84
Shock Star® = nicht-elektrisches Zündsystem → Nonel 229
shock wave 72
Shoeiyaku = Nitropenta 226
shot firer = Sprengmeister
Shotoyaku = AN/TNT 50/50
Shouyaku-koshitsu = plastifiziertes Hexogen (Japan)
SH-Verfahren → Hexogen 167
Sicherheitszündschnüre → Schwarzpulveranzündschnüre 264

Sigmagel = Emulsions-Slurry (Frankreich)
Silberacetylid → Silbercarbid 270
Silberazid 269
Silberfulminat 270
SINCO®-Gasgenerator 5, **269**
single base powder 212, 252
Single-Event FAE → Thermobare Sprengstoffe
Sinoxid-Sätze 271
Sintox-Sätze 272
silver azide 269
siver carbide 270
silvered vessel test 271
silver fulminate 270
Sixolite; Sixonite 285
SK → Kennzeichnung 179
skid test: prüft Verhalten von unverpacktem Sprengstoff beim Fall gegen geneigte rauhe Flächen
Slagbjonn Dynamit = Handelsname für einen pulverförmigen Sprengstoff (Norwegen)
slotted mortar = Schlitzmörser 369
slurries → Sprengschlamm 278
slurry casting = Raketen-Treibladungsaufbau durch Verquellen von NC-Granulat mit Salpetersäure-Estern in situ
small arms ammunition primers = Anzündhütchen
smooth blasting = schonendes Sprengen 259
SN = Natriumnitrat 207
snake hole = Sohlen-Bohrloch
sodatol 272
sodium chlorate 207
sodium nitrate 207
sodium perchlorate 208
Sofranex = Handelsname für einen gelatinösen Sprengstoff (Frankreich)
solid propellant rockets 137
Sorguyl = Tetranitroglycoluril (Frankreich) 93
spacing = Bohrlochabstand
Spaltzünder 272
Span = Sorbitanmonooleat
spark detonator 272
Special Gelatine 80 = gelatinöser Sprengstoff (ICI; UK)
specific energy 273
specific impulse 273
spezifische Energie, spezifischer Druck
→ spezifische Energie 273
spezifisches Gasvolumen 8, 230, 297, 302
spezifischer Impuls 273
spinner = drallstabilisierte Rakete
Spränggumme = Handelsname für Sprenggelatine (Norwegen)
Sprachenschlüssen → Buchanfang
sprengen heißer Massen 3
Sprenggelatine 275
Sprengkapseln 49, 54, 129, 174, 180, 224, 226, **275**, 293, 377
Sprengkraft → Arbeitsvermögen; Bleiblockausbauchung, Brisanz 27, 50, 57
Sprengkulturverfahren 276
Sprenglanze 276
Sprengluft-Verfahren 140
Sprengmittel 45, 129, 179, **276**
Sprengmomentzünder 277
Sprengniete 129, 277
Sprengöl 23, 215, **277**
Sprengpulver 129, 262, **277**
Sprengsalpeter 278
Sprengschlamm 129, 180, **278**
Sprengschnur 70, 129, 149, 178, 276, **279**
Sprengstoff-Befähigungsschein 45, 260
Sprengstoffe, gewerbliche
→ gewerbliche Sprengstoffe 147
Sprengstoffe, plastische
→ plastische Sprengstoffe 240
Sprengstoff-Folien → kunststoffgebundene Sprengstoffe
Sprengstoff-Gesetz 142, 179, **279**, 390
Sprengstoff-Ladegeräte 280
Sprengstoff-Lager-Verordnung 186
Sprengstoff-Prüf-Strecken 44, 367
Sprengstoffvorschrift VBG 55a 2, 71, 186, 390
Sprengverfahren 33, 34, 62, 142, 178, 202, 276, 325
Sprengzubehör 45, 179, 275
Sprengzünder 59, 272, 275, 375, 377

springing = vorkesseln
Springmörser 29
squib = Anzünder
SS → Kennzeichnung 180
stabile Detonation 78
Stabilisatoren; stabilisateurs; stabilizer 10, 11, 63, 64, 65, 108, 109, 135, 237, 252, **280**
Stabilität; stabilité; stability 2, 43, 152, 230, 237, 252, 271, **280**, 284, 355
Stachel → Hohlladung 169
Stärkenitrat 228
Stahlhülsenverfahren 294
standard combustion chamber 56
Standardisierung von Prüfmethoden: International Study Group of the Methods of Testing Explosives; Swedish Detonic Research Foundation, Box 32058, S 12611 Stockholm
Startex = Handelsname für einen Slurry (Schweden)
Startladung; Startrakete, Startschub → Booster 55
Stauchapparat nach *Kast*; Stauchprobe; Stauchkörper → Brisanz 57
stemming 44
Stickstofftetroxid 140, 250
stickstoffwasserstoffsaures Ammonium → Ammoniumazid 15
Stirnabbrand 281
Stoppinen 282
Stoßgriffmaschinen → Zündmaschinen 376
Stoßtränkungs-Sprengen → Tränkungssprengen 325
Stoßwelle 72, 282
straight dynamites 114
straight gelatin dynamites 114
stray current protection 282
Streifenpulver → Schießpulver 252
strength 27
Streustromsicherheit 282
Strontiumazid 248
Strontiumnitrat; strontium nitrate 283
styphnic acid; Styphninsäure 343
Styphnyldichlorid = 1,3-Dichlor-2,4,6-trinitrobenzol
Sublimationswärme von festen Schwadenbestandteilen 319
Subsidol = Konz. H_2O_2
sulfur 262, 264
Super Ajax = wettersicherer Emulsions-Slurry (ICI; UK)
Supercord 283
Superdet = Detonator (IRECO; USA)
Superflex = Sprengschnur (ICI; UK)
Surveillance Test 281
sympathetic detonation 82

T

T 4 = Hexogen (Italien) 166
TA = Triacetin
Tacot 283
TAGN = Triaminoguanidinnitrat 326
Taliani-Test 284
tamping pole = Ladestock
Tanoyaku = Mischungen von Hexogen, TNT und Tetryl (Japan)
TAT = 1,3,5,7-Tetrazetyl-Oktahydroazocin (Vorprodukt in der Oktogen-Synthese)
TATNB = Triaminotrinitrobenzol (USA)
TAX = Acetylhexahydrodinitrotriazin (USA)
TBX → Thermobare Sprengstoffe
TDI = Toluylendiisocyanat 325
TEGMN = Triethylenglycolmononitrat (USA)
TEGN = Triglykoldinitrat 329
Telsit = Handelsname für einen gelatinösen Sprengstoff (Schweiz)
température de détonation 302
température d'explosion 302
température d'inflammation 353
Temperaturkoeffizient 2
Temperatursprung → hydrodynamische Theorie 72
temperatur-unempfindliche Sprengstoffe 158, 159, 166, 220, 231, 241, 283, 336
TEN = Nitropenta (russisch) 226
TeNA = Tetranitroanilin (USA)
TeNAns = Tetranitroanisol (USA)
TeNAzxB = Tetranitroazoxybenzol (USA)

TeNB = Tetranitrobenzol (USA)
TeNBPh = Tetranitrodiphenylamin (USA)
TeNBu = Tetranitrobutan (USA)
TeNCB = Tetranitrochlorbenzol (USA)
TeNCbl = Tetranitrocarbanilid (USA)
TeNCbz = Tetranitrocarbazol (USA) 287
TeNDG = Tetranitrodiglycerin (USA) 288
TeNDMBDNA = Tetranitrodimethylbenzidindinitramin (USA)
TeNDPhETa = Tetranitrodiphenylethan (USA)
TeNDPhEtla = Tetranitrodiphenylethanolamin (USA)
TeNHzB = Tetranitrohydrazobenzol (USA)
TeNMA = Tetranitromethylanilin (Tetryl) (USA) 292
TeNME = Tetranitromethan (USA) 289
TeNN = Tetranitronaphthalin (USA) 290
TeNOx = Tetranitrooxanilid (USA)
TeNPhMNA = Tetranitrophenylmethylnitramin (USA)
TeNT = Tetranitrotoluol (USA)
TeNTMB = 3,5,3',3'-Tetranitro-4,4'-tetramethyldiaminobiphenyl (USA)
TePhUr = Tetraphenylharnstoff (USA)
Territ = plastischer Sprengstoff aus Nitroglycerin, Ammoniumperchlorat, DNT, TNT, Natriumsalpeter und Nitrocellulose (Schweden)
test gallery 367
Tetra; Tetralit Tetralita = Tetryl 292
Tetramethylammoniumnitrat 285
Tetramethylentetranitramin → Oktogen 231
Tetramethylolcyclo-hexanoltetranitrat; -hexanolpentanitrat; -hexanontetranitrat; -pentanoltetranitrat; -pentanolpentanitrat; -pentanontetranitrat 132, **285**
tétranitrate de diglycérine 288
tétranitrate de érythrol 213
tétranitrate de pentaérythrol 226
tétranitrate de tétraméthylolpentanone 285
Tetranitroanilin 132, **286**
Tetranitrocarbazol, tétranitrocarbazol 287
Tetranitrodibenzotetrazapentalen; tétranitrodibenzotétrazapentalène → Tacot 283
Tetranitrodiglycerin 288
Tetranitroerythrit 213
Tetranitroethylanilin = Ethyletryl 124
Tetranitromethan 289
Tetranitromethylanilin = Tetryl 292
Tetranitronaphthalin 132, **290**
Tetrasin = Tetrazen (russisch) 291
Tetratetryl = Tetra-(Trinitrophenylnitraminoethyl)-methan (USA)
Tetrazen; tétrazéne 55, 132, 174, 248, 256, 271, 272, **291**
Tetrazolyl-guanyl-Tetrazen-Hydrat = Tetrazen
Tetril = Tetryl (russisch) 292
Tetritol-Cyclonite = Tetryl/TNT/RDX 11,7/16,4/71,9 (russisch)
Tetroxyl = Trinitrophenylmethoxynitramin (USA)
Tetryl; tétryl 51, 132, 251, 256, 275, **292**, 293, 295, 317
Tetrytol 293
TFENA = Trifluorethylnitramin (USA)
TG → Kennzeichnung 180
TG = Thermogravimetrie 296
TG = Trotil-Gheksogen = TNT/RDX-Mischungen (russisch)
théorie hydrodynamique de la détonation 72
thermic differential analysis 296
thermische Sensibilität 116, **293**
Thermit 296
Thermobare Sprengstoffe (TBX, Single-Event FAE) ■■
thermodynamische Berechnung der Umsetzung von Explosivstoffen 133, 134, 260, 273, **296**
thermonydrodynamic theory of detonation 72
thermogravimetrische Analyse; TGA; Thermowaage; TG 296
Thional = Pentanitrodiphenylsulfon (USA)

thrust 259
tir à microretard 202
tir d'imprégnation 325
tir sous pression d'eau 348
Titan G Booster = Ngl.-Gelatine als Zündverstärker (IRECO; USA)
TLP = Treibladungspulver; weitere Buchstaben bezeichnen: A: Nitrocellulose-Pulver; D: DNT enthaltend; F: Nitroglycerin-Pulver; G: Diglykoldinitrat-Pulver; K: Kugel-Pulver; N-P: dreibasige Pulver; V-W: poröse Pulver (BRD)
TMENT = Trimethylentrinitrosamin (USA) 69
TNA = Trinitroanilin 332
TNAmPH = Trinitroaminophenol (USA)
TNnd = Trinitroanilid (USA) 332
TNAns = Trinitroanisol (USA) 332
TNAZ = Trinitroazetidin 287
TNB = Trinitrobenzol 334
TNBA = Trinitrobenzaldehyd
TNBAc = Trinitrobenzoesäure (USA) 333
TNBzN = Trinitrobenzoylnitrat
TNC = Tetranitrocarbazol 287
TNCB = Trinitrochlorbenzol (USA) 336
TNCrs = Trinitrocresol (USA) 337
TNDCB = Trinitrodichlorbenzol (USA)
TNDMA = Trinitrodimethylanilin (USA)
TNDPhA = Trinitrodiphenylamin (USA)
TNEB = Trinitroethylbenzol (USA)
TNEDV = Trinitroethyldinitrovalerat (USA)
TNETB = 2,2,2-Trinitroethyl-4,4,4-trinitrobutyrat (USA)
TNG = Trinitroglycerin (USA) 215
TNM = Tetranitromethan 289
TNMA = Trinitromethylanilin (USA)
TNMeL = Trinitromelamin (USA)
TNMes = Trinitromesitylen (USA)
TNN = Trinitronaphthalin (USA) 338
TNO = Tetranitrooxanilid (USA)
TNPE = PETN (spanisch) 226
TNPh = Trinitrophenol = Pikrinsäure (USA) 239
TNPhBuNA = Trinitrophenylbutylnitramin (USA)
TNPhDA = Trinitrophenylendiamin (USA)
TNPhENA = Trinitrophenylethylnitramin (USA) 124
TNPhlGl = Trinitrophloroglucin (USA)
TNPhMNA = Trinitrophenylmethylnitramin (USA)
TNPhMNAPh = Trinitrophenylmethylnitraminophenol (USA)
TNPht = Trinitrophenetol (USA) 339
TNR = Trinitroresorcin (USA) 343
TNRS = lead styphnate = Bleitrinitroresorcinat (USA) 54
TNStl = Trinitrostilben (USA)
TNT = Trinitrotoluol 344
TNTAB = Trinitrotriazidobenzol (USA)
TNTCIB = Trinitrochlorbenzol (USA)
TNTCIB = Trinitrochlorbenzol (USA) 336
TNTMNA = Trinitrotolylmethylnitramin (USA)
TNX = Trinitroxylol 338
toe = Fußvorgabe
TOFLOX = Lösung von Ozonfluorid in flüssigem Sauerstoff (USA)
Tolamite = Handelsname für einen gelatinösen Sprengstoff (Frankreich)
Tolit, Trolita, Tolite = Trinitrotoluol 344
Tolite/D = TNT, Erstarrungspunkt 80,6 °C
Tolite/M = TNT, Erstarrungspunkt 78 °C
Tolite/O = TNT, Erstarrungspunkt 79 °C
Tolite/T = TNT, Erstarrungspunkt 80,1 °C (Frankreich)
Toluylendiisocyanat 325
Tonka = deutscher Tarn-Name für eine flüssige Treibmittelkombination aus Anilin, Dimethylanilin und Salpetersäure
Tonnenmörser → Arbeitsvermögen 27
Torpex 325
Totalit = AN mit ca. 5% Paraffin (Schweiz)

Toval = Handelsname für einen gelatinösen,
Tovite = für einen pulverförmigen Sprengstoff,
Tovex = für einen Sprengschlamm (USA)
TPEON = Tripentaerythritoctanitrat (USA)
tracer ammunition → Leuchtsätze 193
Tränkungssprengen 325
transmission = Übertragung
Transport par injection d'eau 117
Transport von Explosivstoffen 4, 5, **142**, 173, 174, 249
Trauzl-Block → Bleiblockausbauchung 50
Treibladung; Treibladungspulver → Schießpulver 252
Treibstoff 252, **326**
Triacetonperoxid; triacétoneperoxide 3
Trialene 13, 326
Triaminoguanidinnitrat; triaminoguanidine nitrate 326
Triaminotrinitrobenzol 327
triazide cyanurique 68
Triazido-s-triazin 68
Tribride = 3-Componenten-Treibstoff, mit suspendiertem Metall-Pulver (USA)
Tricinat = Bleitrinitroresorcinat 54
Tricycloacetonperoxid = Acetonperoxid 3
Triergol = Tribride
triethyleneglycol dinitrate; Triglykoldinitrat 135, 139, 253, **329**
Trilita;
Trilite = Trinitrotoluol 344
Trimethylaminnitrat; trimethylamine nitrate 330
Trimethylenglykoldinitrat; trimethyleneglycol dinitrate 331
Trimethylentrinitramin = Hexogen 166
Trimethylentrinitrosamin **69**, 128
Trimethylolethantrinitrat = Metrioltrinitrat 201
Trimethylol-ethylmethane-trinitrate 120
Trimethylolethylmethantrinitrat = Ethrioltrinitrat 120
Trimethylolnitromethantrinitrat = Nitroisobutylglycerin 222
Trimethylolpropantrinitrat = Ethrioltrinitrat 120
Trinal = Trinitronaphthalin 338
Trinitranilin = Trinitroanilin 332
trinitrate de glycérine 215
trinitrate de métriol 201
trinitrate de nitroisobutylglycérine 222
trinitrate de pentaérythrite 235
trinitrate de triméthyloléthylméthane 120
trinitrate de triméthylolméthylméthane 201
trinitrate du butantriol 60
Trinitril = Trinitrophenylglycerinetherdinitrat
Trinitroanilin 132, **332**
Trinitroanisol 132, **332**
Trinitroazetidin **287**, 317
Trinitrobenzoesäure, trinitrobenzoic acid 132, **333**
Trinitrobenzol; trinitrobenzène 132, 317, **334**, 335
Trinitrochlorbenzol; trinitrochlorbenzène 97, 317, **336**
Trinitrodioxybenzol = Trinitroresorcin 343
Trinitroethylalkohol 215
Trinitroglycerin = Nitroglycerin 215
Trinitrokresol; trinitrométacrésol 131, **337**
Metallsalze 132
trinitrométaxylène 338
Trinitromethan = Nitroform 215
Trinitro-m-Xylol; trinitroxylene 132, **338**
Trinitronaphthalin; trinitronaphthalène 132, **338**
Trinitrooxybenzol → Pikrinsäure 239
Trinitrophenetol; trinitrophénétol 339
Trinitrophenol → Pikrinsäure
Metallsalze 240
Trinitrophenoxyethylnitrat 341
Trinitrophenylethanolnitraminnitrat 340
Trinitrophenylethylnitramin = Ethyl-Tetryl 124

Trinitrophenylglycerinetherdinitrat 132, **340**
Trinitrophenylglykolethernitrat, trinitrophenoxethylnitrate 132, **341**
Trinitrophenylmethylether = Trinitroanisol 332
Trinitrophenylmethylnitramin = Tetryl 292
trinitrophenylnitraminoethylnitrate 340
Trinitropyridin 342
Trinitropyridin-N-oxyd 342
Trinitroresorcin; trinitrorésorcinol 54, **343**
trinitrorésorcinate de plomb 54
Trinitrotoluol; trinitrotoluène 24, 30, 35, 41, 52, 66, 71, 105, 115, 128, 133, 136, 147, 153, 159, 165, 228, 251, 254, 265, 278, 293, 295, 317, 325, 326, **344**, 354
trinitroxyléne; Trinitroxylol 338
Trinol = Trinitroanisol 332
Triogen = Trimethylentrinitrosamin (USA) 69
triple base powder 253
Trisol = Trinitroanisol 332
Tritex = Handelsname für ein pulverförmiges blasting agent (USA)
Tritol; Triton → Trinitrotoluol 344
Tritonal 347
Trixogen 347
Trizin → Trinitroresorcin 343
Trizinat 54
Trojamite = Handelsname für einen pulverförmigen Sprengstoff (USA)
Trojel = Handelsname für eine Slurry (USA)
Tropenpulver 60, 202
Tropföl ist ein Trinitrotoluol-Isomerengemisch
Trotyl; Tutol = Trinitrotoluol
trunkline = Leit-Sprengschnur
T-Stoff = konz. H_2O_2
Tunnel Gelatine = Handelsname für einen gelatinösen Sprengstoff (GB)
tuyère 113

U

UDMH = Dimethylhydrazin 92
Übertragung → Detonationsübertragung 82
Übertragungsladung 55, 354
Übertragungssprengstoffe → Wettersprengstoffe 356
ummantelte Wettersprengstoffe 347
Umrechnungstabellen → Buchende
underwater detonations; Unterwasserdetonationen 348
Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaft 71, 260, 352, 390
Unigel = Handelsname für einen Wettersprengstoff (GB) und Handelsname für einen halbgelatinösen Sprengstoff (USA)
Unigex; Unipruf = Handelsname für Wettersprengstoffe (GB)
Unimax = gelatinöser Sprengstoff (IRECO; USA)
Unterwasserprüfmethode 27
Unterwassersprengstoffe 12, 156, 254, 325, 326, 348
Unterwasserzünder 350
urea nitrate 152
Urethane → Stabilisatoren 280
U. V. V. = Unfallverhütungsvorschriften 390
U-Zünder → Brückenzünder 59

V

Vakuumbombe → FAE
Vakuum-Test 350
Veltex = Mischung aus Oktogen, Nitrocellulose, Nitroglycerin; Nitrodiphenylamin und Triacetin (USA)
Verbrennbare Kartuschhülsen 350
Verbrennung 351
Verbrennungsgeschwindigkeit → Abbrand 1
Verbrennungswärme 351
Verbundtreibsätze 351
Verdämmen 44, 115
Verdampfungswärme → thermodyna-

mische Berechnung der Umsetzung von Explosivstoffen 319
Vergleichspulver 36
Vernichten 352
Verpuffung; Verpuffungspunkt; Verpuffungstemperatur 353
Verstärkungsladungen 55, 354
Versuchsstrecken 354, 367
Vertrieb → Bezug von Explosivstoffen 45
Verzögerungssätze; Verzögerungszünder 354, 355
vessel mortar = Tonnenmörser 28
Viatra = Handelsname für eine inerte Besatzpatrone (Schweiz)
Vibrodet = Detonator (IRECO; USA)
Vibrogel; Vibromite = Handelsnamen für seismische Spezialsprengstoffe (USA)
Vieille-Test 355
Virialgleichung → Zustandsgleichung 378
Viskosität von Nitrocellulose 210
Visol; Visol-1; -4; -6 = Vinylethylether und Mischungen mit Isopropylalkohol und Vinylbutylether; flüssiger Raketenbrennstoff (BRD)
Vistac N° 1 = Polybutan mit niedrigem Molekulargewicht (USA)
vitesse de combustion 1
vitesse de détonation 82
vitesse en fin de combustion 56
Viton A = Perfluorpropylen-vinylidinfluorid-Copolymer (USA)
vivacity factor = Lebhaftigkeitsfaktor 1
VNP = Polyvinylnitrat (USA)
Volumex = Handelsname für einen Spezialsprengstoff für → schonendes Sprengen
Vorkerben; Vorspalten → schonendes Sprengen 259
VV = Vzryvchatoiye veschestvo = Sprengstoff (russisch)

W

W I; W II; W III → Kennzeichnung für Sicherheitsklassen der Wettersprengstoffe 180
Warmlagerteste 355
Wasacord 357
WASAG-Collodiumwollen → technische Collodiumwollen 211
Wasafol; Wasaform 357
Wasamon 357
Wasserbesatz 358
Wasserfestigkeit 358
Wassergas-Gleichgewicht 298, 324
water driven injector transport 117
water infusion blasting 325
water resistance 358
water resistant detonator 350
water stemming 358
web thickness 359
Weichkornpulver → Schwarzpulver 262, **359**
Weichmacher 280
weight strength 27, 40
„Weißpulver" („Raschite") waren aus wasserlöslichen Brennstoffen (z. B. kresolsulfosaurem Natrium) und Nitraten zusammengesetzt
Wellenfront 72
Wetter-Carbonit C 360
Wetter-Devinit A 361
Wetter-Dynacord 361
Wetter-Energit B 362
Wetter-Permit B 363
Wetter-Roburit B 364
Wetter-Securit C 365
Wettersprengstoffe 365
Wetter-Westfalit C 374
WFNA; WFN = „weiße" (nicht rote rauchende HNO_3 (GB)
WhC = white compound = 1,9-Dicarboxy-2,4,6,8-tetranitrophenazin-N-oxid (USA)
WIWEB 374
Würfel-Pulver → Schießpulver 252
W-Verfahren → Hexogen 167

X

X-310 A = Zünder für „mild detonating fuse" (USA)
Xilit = Trinitroxylol (russische) 338
XTX = → Hexogen mit Silikonharz (USA)

Xyloidine = Nitrostärke 228
Xytolite = Handelsname für einen halbgelatinösen Sprengstoff (Frankreich)

Y

Yonkite = Handelsname für einen gewerblichen Sprengstoff (Belgien)
Yuenyaku = Schwarzpulver (Japan) 262

Z

Z; ZA; ZEBA; ZEBHU; ZEBU → Kennzeichnung 182
Zazhigateinaya = Molotow-Cocktail
Zeitzünder → Brückenzünder 59
Zellstoff 209
Zellulosenitrate = Nitrocellulose 209
ZEMA; ZEMHU; ZEMSA; ZEMSHU; ZEMSU; ZEMU → Kennzeichnung 182
Zentralit → Centralit 63
ZEPA; ZEPHU; ZEPU; ZEVA; ZEVHU; ZEVSA; ZEVSHU; ZEVSU; ZEZA; ZEZHU; ZEZU; ZI → Kennzeichnung 182
Zhirov = Mischungen von Tetryl mit Ammonium- oder Kaliumperchlorat (russisch)
Zigarrenbrenner; Zigarrenabbrand 281
Zinkperoxid 272, 374
ZLE; ZLG; ZLV; ZK; ZM; ZP → Kennzeichnung 182
Z-Salz, Z-Stoff = $KMnO_4$ als Zerfallskatalysator für H_2O_2
Zuckernitrate → Nitrozucker 229
Zündblättchen → Amorces 24
Zünder, chemische 123
Zünder, elektrische → Brückenzünder **59**, 139
Zündhütchen → Anzündhütchen 26
Zündkabel 45
Zündkreisprüfer 375
Zündimpuls → Brückenzünder 59
Zündladungen 55
Zündmaschinen 45, 376
Zündmittel 26, 45, 59, 129, 229, 271, 272, 275, 277, 279, **377**
Zündpille 377
Zündschalter 377
Zündschnur → Schwarzpulveranzündschnur 262
Zündschnurpulver → Schwarzpulver 262
Zündschraube 377
Zündung 378
Zündverzug 378
ZV → Kennzeichnung 182
Zustandsgleichung = equation of state 378
zweibasige Pulver 241, 252
ZZB; ZZG; ZZT; ZZW → Kennzeichnung 182

Sprachenschlüssel		
Bruttoformel	gross formula	formule brute
Molekulargewicht	molecular weight	poids moléculaire
Bildungswärme	heat of formation	chaleur de formation
Sauerstoffwert	oxygen balance	bilan d'oxygène
Stickstoffgehalt	nitrogen percentage	taux d'azote
Normalgasvolumen	volume of detonation gases	volume de gaz de détonation
Explosionswärme	explosion heat	chaleur d'explosion (chaleur spécifique)
Spezifische Energie	specific energy	énergie spécifique
Dichte	density	densité
F.:	fusion point	point de fusion
Bleiblockausbauchung	lead block test	évasement du bloc de plomb
Detonations-geschwindigkeit	detonation velocity	vitesse de détonation
Verpuffungspunkt Entzündungs-temperatur	deflagration point	point de déflagration
Schlag-Empfindlichkeit	impact sensitivity	sensibilité au choc
Reib-Empfindlichkeit	friction sensitivity	sensibilité au frottement
Grenzdurchmesser Stahlhülsentest	critical diameter of steel sleeve test	diamètre critique dans l'essai en douille d'acier

fórmula bruta	валовая формула	sumární vzorec
peso molecular	молекулярный вес	molekulová váha
energía de formación	теплота образования	slučovací teplo
balance de oxígeno	кислородный баланс	kyslíková bilance
porcentaje de nitrógeno	содержание азота	obsah dusíku
volumen de gases de detonación	объем газообразных продуктов взрыва при нормальных условиях	objem plynných zplodin výbuchu za norm. podminek
calor de explosión	теплота взрыва	výbuchové teplo
energía específica	удельная энергия	specifická energie
densidad	плотность	hustota
punto de fusión	точка плавления	bod tání
ensayo del bloque de plomo	расширение канала свинцового блока трауцля	váduť v olověném bloku
velocidad de detonación	скорость детонации	det. rychlost
punto de deflagración	температура вспышки	bod výbuchu
sensibilidad al choque	чувствительность к удару	citlivost k nárazu
sensibilidad a fricción	чувствительность к трению	citlivost k tření
diámetro crítico en el ensayo con vaina de acero	критический диаметр при испытании в стальных гильзах	Kritický průměr pro stanovení v ocelov. trub.

Atomgewichte

Aluminium	Al	26,982	Lithium	Li	6,939
Antimon	Sb	121,75	Magnesium	Mg	24,312
Arsen	As	74,922	Mangan	Mn	54,938
Barium	Ba	137,34	Natrium	Na	22,990
Blei	Pb	207,19	Phosphor	P	30,974
Bor	B	10,811	Quecksilber	Hg	200,59
Cadmium	Cd	112,40	Sauerstoff	O	15,999
Calcium	Ca	40,08	Schwefel	S	32,064
Cer	Ce	140,12	Selen	Se	78,96
Chlor	Cl	35,453	Silber	Ag	107,87
Chrom	Cr	51,996	Silicium	Si	28,086
Eisen	Fe	55,847	Stickstoff	N	14,007
Fluor	F	18,998	Strontium	Sr	87,62
Jod	J	126,90	Wasserstoff	H	1,00797
Kalium	K	39,102	Zink	Zn	65,37
Kohlenstoff	C	12,011	Zinn	Sb	118,69
Kupfer	Cu	63,54			

Masse			kg	g	oz.	lb.
Kilogramm	1 kg	=	1	1000	35,274	2,2046
grain:	1 gr	=	$6{,}4799 \cdot 10^{-6}$	$6{,}4799 \cdot 10^{-3}$	$2{,}2857 \cdot 10^{-4}$	$1{,}4286 \cdot 10^{-5}$
ounce:	1 oz.	=	$2{,}8350 \cdot 10^{-2}$	28,350	1	$6{,}25 \cdot 10^{-2}$
pound:	1 lb.	=	$4{,}5359 \cdot 10^{-1}$	453,59	16	1
short ton:	1 sh. t	=	907,18			
metrische Tonne:	1 t	=	1000 = i,1023 sh. t			

Länge			m	in.	ft.	yd.
Meter:	1 m	=	1	39,370	3,2808	1,0936
inch:	1 in.	=	$2{,}54 \cdot 10^{-2}$	1	$8{,}3333 \cdot 10^{-2}$	$2{,}7778 \cdot 10^{-2}$
foot:	1 ft.	=	$3{,}048 \cdot 10^{-1}$	12″	1	$3{,}3333 \cdot 10^{-1}$
yard:	1 yd.	=	$9{,}144 \cdot 10^{-1}$	36″	3	1
mile:	1 mi.	=	1609,3	63 360	5 280	1760

Fläche			m^2	cm^2	$in.^2$; s. i.	$ft.^2$; s. ft.
Quadratmeter:	1 m^2	=	1	10 000	1550,0	10,764
square inch:	1 $in.^2$	=	$6{,}4516 \cdot 10^{-4}$	6,4516	1	$6{,}9444 \cdot 10^{-3}$
square foot:	1 $ft.^2$	=	$9{,}2903 \cdot 10^{-2}$	929,03	144	1
acre:	1 A.	=	4046,9 ≈ 0,4 ha			

Volumen:			l	gal.
Liter:	1 l	=	1	$2{,}2007 \cdot 10^{-1}$
Milliliter:	1 ml	=	10^{-3}	$2{,}2007 \cdot 10^{-4}$
Kubikzentimeter:	1 cm^3	=	10^{-3}	$2{,}2007 \cdot 10^{-4}$
cubic inch:	1 in^3	=	$1{,}6387 \cdot 10^{-2}$	$3{,}6063 \cdot 10^{-3}$
fluid ounce:	1 oz fl	=	$2{,}8413 \cdot 10^{-2}$	$6{,}2528 \cdot 10^{-3}$
liquid pint:	1 pt	=	$5{,}68 \cdot 10^{-1}$	$1{,}25 \cdot 10^{-1}$
liquid quart:	1 qt = 2 pt	=	1,136	$2{,}5 \cdot 10^{-1}$
gallon:	1 gal = 4 qt	=	4,544	1
cubic foot:	1 ft^3	=	28,317	6,2317
dry barrel:	1 bbl dry	=	115,63	25,447

Kraft; Gewicht = Masse × Beschleunigung			N	kp	lb (wt)
Newton = 10^5 Dyn	1 N	=	1	$1{,}0197 \cdot 10^{-1}$	$2{,}2409 \cdot 10^{-1}$
Kilopond	1 kp	=	9,8067	1	2,2046
pound weight:	1 lb (wt)	=	4,4482	$4{,}5359 \cdot 10^{-1}$	1

Druck = Kraft/Fläche			Pa	bar	kp/cm^2	Atm.	p. s. I.
Pascal = 1 N pro m^2:	1 Pa	=	1	10^{-5}	$1{,}0197 \cdot 10^{-5}$	$9{,}8692 \cdot 10^{-4}$	$1{,}4504 \cdot 10^{-4}$
bar = 10 Newton pro cm^2:	1 bar	=	10^5	1	1,0197	0,98692	14,504
physikalische Norm-Atmosphäre: = 760 Torr = 760 mm Hg	1 Atm.	=	$1{,}01325 \cdot 10^{-5}$	1,01325	1,0332	1	14,696
technische Norm-Atmosphäre:	1 kp/cm^2	=	$9{,}8067 \cdot 10^{-4}$	0,98067	1	0,96784	14,223
Wassersäule:	10 m	=	$9{,}8064 \cdot 10^{-4}$	0,98064	0,99997	0,96781	14,223
pound per square inch:	1 p. s. I oder ib/in^2	=	$6{,}8947 \cdot 10^{-3}$	$6{,}8947 \cdot 10^{-2}$	$7.0307 \cdot 10^{-2}$	$6{,}8046 \cdot 10^{-2}$	1
pound per square foot:	1 p. s. ft. oder lb/ft^2	=	$4{,}7880 \cdot 10$	$4{,}7880 \cdot 10^{-4}$	$4{,}8824 \cdot 10^{-4}$	$4{,}7254 \cdot 10^{-4}$	$6{,}9444 \cdot 10^{-3}$

Energie = Kraft × Weglänge			kJ	kcal	mt	l atm	l bar
Joule = Meter-Newton:	1 J = 1 m N	=	10^{-3}	$2{,}3884 \cdot 10^{-4}$	$1{,}0197 \cdot 10^{-4}$	$9{,}8687 \cdot 10^{-3}$	10^{-2}
Kilojoule:	1 kJ	=	1	$2{,}3884 \cdot 10^{-1}$	$1{,}0197 \cdot 10^{-1}$	9,8687	10
Kilokalorie:	1 kcal	=	4,1868	1	$4{,}2694 \cdot 10^{-1}$	41,319	41,869
Meter-Tonne (1000 kp):	1 m t	=	9,8067	2,3423	1	96,782	93,069
Liter-Atmosphäre:	1 l atm	=	$1{,}0133 \cdot 10^{-1}$	$2{,}4202 \cdot 10^{-2}$	$1{,}0333 \cdot 10^{-2}$	1	1,0133
Liter-Bar:	1 l bar	=	10^{-1}	$2{,}3885 \cdot 10^{-2}$	$1{,}0197 \cdot 10^{-2}$	$9{,}8687 \cdot 10^{-1}$	1
Kilowattstunde:	1 kWh	=	3600	859,85	367,10	35 528	36 000
Pferdestärkestunde:	1 PS h	=	2647,8	632,42	270	26 131	26 478
Gasgleichungs-Energiewert	$R \cdot {}^{\circ}K \cdot$ Mol	=	$8{,}313 \cdot 10^{-3}$	$1{,}9858 \cdot 10^{-3}$	$8{,}478 \cdot 10^{-4}$	$8{,}204 \cdot 10^{-2}$	$8{,}313 \cdot 10^{-2}$
British Thermal Unit	1 BTU	=	1,055	$2{,}520 \cdot 10^{-1}$	$1{,}076 \cdot 10^{-1}$	10,41	10,55

Spezifischer Impuls

$\frac{\text{kp s}}{\text{kp}} = \text{s}$	$\frac{\text{kp s}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{N s}}{\text{kg}} = \frac{\text{m}}{\text{s}}$	
$\frac{\text{kp s}}{\text{kp}} = \frac{\text{lb (wt) s}}{\text{lb (wt)}} = \text{s}$	1	1	9,8067
$\frac{\text{kp s}}{\text{kg}} = \frac{\text{lb (wt) s}}{\text{lb}}$	1	1	9,8067
$\frac{\text{N s}}{\text{kg}} = \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$1{,}0197 \cdot 10^{-1}$	$1{,}0197 \cdot 10^{-1}$	1